



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

**MAPEAMENTO SÍSMICO DA FM. CALUMBI NO  
CAMPO DE CARAPITANGA, BACIA DE SERGIPE-  
ALAGOAS**

Isabela Ramos Soares

Orientador: Prof. Dr. Felipe Torres Figueiredo

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão-SE

2019

Isabela Ramos Soares

**MAPEAMENTO SÍSMICO DA FORMAÇÃO CALUMBI NO  
CAMPO DE CARAPITANGA, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

**Orientador:** Dr. Felipe Torres Figueiredo

São Cristóvão—SE

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S676m      Soares, Isabela Ramos  
Mapeamento sísmico da FM. Calumbi no campo de  
Carapitanga, bacia de Sergipe-Alagoas / Isabela Ramos Soares ;  
orientador Felipe Torres Figueiredo. – São Cristóvão, SE, 2019.  
52 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geociências e Análise de Bacias) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Geociências. 2. Geologia estratigráfica. 3. Bacias  
(Geologia) – Sergipe – Alagoas. 4. Fácies (Geologia). 5. Pesquisa  
sismológica. I. Figueiredo, Felipe Torres, orient. II. Título.

CDU 551.7(813.7+813.5)

# **MAPEAMENTO SÍSMICO DA FORMAÇÃO CALUMBI NO CAMPO DE CARAPITANGA, BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS**

por:

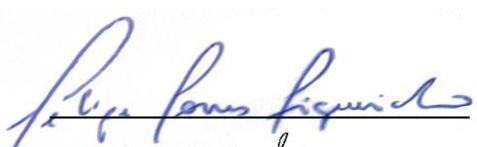
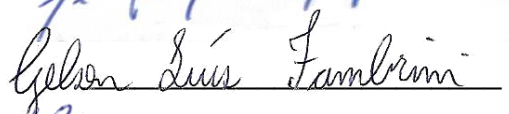

Isabela Ramos Soares  
(Geóloga, Universidade Federal de Sergipe – 2014)

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

## **MESTRE EM GEOCIÊNCIAS**

### **BANCA EXAMINADORA:**

	Dr. Felipe Torres Figueiredo [Orientador – UFS]
	Dr. Gelson Fambrini [Membro Externo – UFPE]
	Dr. Alexandre Liparini [Membro Interno – PGAB/UFS]

Data Defesa: 31/01/2019

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as bênçãos e por me mostrar, entre erros e acertos, qual caminho seguir. Agradeço aos meus pais, vocês são minha inspiração e fonte de toda força necessária para seguir em frente. Ao meu namorado, por toda compreensão e companheirismo durante este tempo. Aos meus irmãos e cunhadas, por sempre me incentivarem durante essa jornada. Aos meus avós e tia avó que, apesar de hoje já não entenderem muito bem as coisas, sou grata e privilegiada por ter a companhia deles tão próxima a mim. Aos meus familiares, por toda torcida e palavras de incentivo. Aos meus amigos, a quem tanto desabafei durante esses anos, obrigada por sempre estarem dispostos a me ouvir e terem palavras positivas para me estimular.

Agradeço ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Felipe Figueiredo, por toda paciência, disposição em realizar este trabalho e por toda orientação repassada nos resultados da pesquisa. Ao meu colega de mestrado German Meneses, por ter compartilhado toda sua experiência e habilidade, foi o “co-orientador” extraoficial deste trabalho, eternamente grata a você e a sua família, pelo acolhimento dado na sua casa durante o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço aos meus chefes Homero Pessoa e Zadson Franco, da ENGE PET, pela compreensão durante as solicitações de liberação do expediente de trabalho e a EPG, na pessoa de Cleber Bahia, pela disponibilidade dos dados.

Agradeço, por fim, a coordenação do PGAB pela oportunidade em desenvolver esta pesquisa.

Gratidão!

## **RESUMO**

A Formação Calumbi, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas, apesar de ter importante papel na produção de hidrocarbonetos, tem sua geologia pouco discutida abertamente. O campo de Carapitanga é um campo de acumulação marginal localizado na área norte da bacia e produtor de petróleo e gás nesta formação. O presente trabalho realizou a análise sísmica, aplicando os conceitos de interpretação sismoestratigráfica, como terminações, padrões externos e arquitetura externa de refletores, permitiu o reconhecimento e mapeamento de sismofácies que, por sua vez, permitiram inferir superfícies limitantes, sendo identificados eventos transgressivos e regressivos ao longo da deposição da formação na área do campo. Este mapeamento reconhece, também, a presença de cânions de cerca de 4 km que se reposicionam ao longo do tempo geológico, sugerindo modelo deposicional para esta área do campo de Carapitanga.

**Palavras-chave:** Formação Calumbi; Campo de Carapitanga; Sismoestratigrafia.

## **ABSTRACT**

The Calumbi Formation, drifte section of the Sergipe-Alagoas Basin, although having an important role in the production of hydrocarbons, has its geology not discussed openly. The Carapitanga field is a marginal accumulation field located in the northern area of the basin and oil and gas producer in this Formation. The present work carried out the seismic analysis, applying the concepts of seismostratigraphic interpretation, such as terminations, external patterns and external architecture of reflectors, which allowed the recognition and mapping of sismofacies that, in turn, allowed inferring limiting surfaces, identifying transgressive and regressive events along the deposition of the Formation in the field area. This mapping also recognizes the presence of canyons of about 4km that reposition themselves along the geological time, suggesting a depositional model for this area of the Carapitanga field.

**Keywords:** Calumbi formation; Carapitanga field; Seismostratigraphic.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	11
Apresentação: .....	11
Objetivos: .....	12
Localização da área: .....	12
Métodos de trabalho: .....	13
Bibliografia.....	17
CAPÍTULO II – ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GEOLOGIA-USP SÉRIE CIENTÍFICA: Modelo deposicional de cânions submarinos da Formação Calumbi no campo petrolífero de Carapitanga, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas.. .....	20
Resumo .....	20
Abstract.....	20
Introdução .....	21
Contexto geológico.....	23
Materiais e métodos.....	26
Resultados.....	27
Discussão .....	40
Conclusão .....	42
Referências bibliográficas .....	44
CAPÍTULO III – CONCLUSÃO .....	46
ANEXO I – NORMAS DA REVISTA GEOLOGIA-USP SÉRIE CIENTÍFICA .....	48
ANEXO II – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO .....	54
ANEXO III – JUSTIFICATIVA DE COAUTORIA .....	55



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização e forma de acesso a área de estudo. ....	13
Figura 2. Configuração interna dos padrões de refletores sísmicos mais comuns (Pereira, 2008).....	15
Figura 3. Padrões externos de erosão e preenchimento de canal (Veeken, 2007).....	16
Figura 1. Localização da área de estudo e principais vias de acesso.....	23
Figura 2. Estruturação tectônica da Bacia Sergipe-Alagoas (Jardim de Sá et al., 2008).....	24
Figura 3. Sequências deposicionais da Formação Calumbi a partir de perfis de raios-gama (Modificada de Silva, 2007).....	26
Figura 4. Localização das linhas sísmicas.....	28
Figura 5. Intervalo em subsuperfície interpretado para a Formação Calumbi no campo de Carapitanga.....	29
Figura 6. Sismofácies identificadas ao longo da sísmica que intercepta o campo de Cartapitanga.....	30
Figura 7. Resumo das sismofácies interpretadas e principais geometrias associadas a suas terminações. (Sf4) <i>Oblíqua</i> - Notar formas inclinadas com padrão de preenchimento agradacional para retrogradacional até a última terminação em <i>onlap</i> na extrema esquerda (cinza escuro). Ao centro aparece a primeira terminação em <i>offlap</i> , indicando possível progradação e expansão do fluxo dado pelos refletores segmentados a pouco caóticos (cinza claro). (Sf5) <i>Divergente</i> – Migração lateral de barras arenosas para SW (esquerda – cinza escuro) com construção de dique marginal para o topo (cinza claro) e preenchimento de canal à direita por refletores segmentados interpretados como escorregamentos (branco). (Sf6) <i>Ondulada</i> – Preservação de base de canal, interpretado como vale inciso de até 1,5 km de largura, preenchido por formas de leito progradação da direita para esquerda. Notar padrão segmentado no centro que lateralmente muda para sub-paralelo.....	32
Figura 8. Principais superfícies limitantes, terminações de refletores e padrões geométricos interpretados nas seções sísmicas.....	35
Figura 9. (A) Linha sísmica 4; (B) Interpretação sísmica para a Formação Calumbi e Sequências pré-campanianas no Campo de Carapitanga. Notar a presença de 3 mudanças laterais sucessivas de posição de vales incisos por meio de superfícies canalizadas (Sc) de NE para SW (linhas vermelhas) preenchidos por fluxos gravitacionais. Para o topo ocorrem superfícies transgressivas (St), marcando a subida gradual do nível de base até seu máximo (Stm), quando ocorre o segundo canal.....	37
Figura 10a. Modelo geométrico de preenchimento sedimentar da linha sísmica 4 no Campo de Carapitanga. Da base para o topo é possível notar o limite de sequência do tipo I (Ls), por meio de exposição completa do trato de sistemas anterior. Para o	

topo é recoberto pela primeira aparição do trato de sistemas de mar baixo (TSMB1), logo recoberto, em discordância erosiva por um canal (Sc), por sua vez preenchido pelo primeiro trato transgressivo (TST1). Acima dele há amplo desconfinamento das formas de grande escala da bacia, com preservação do trato de sistemas de mar alto (TSMA1), sobre o qual está preservada superfície transgressiva máxima (Stm) e o segundo limite de sequência, do tipo II (Ls).....	38
Figura 10b. Variação do nível de base ao longo da deposição sedimentar da Fm. Calumbi. Notar variação regular do nível de base ao longo da sequência 1 que é mais espessa, e irregular ao longo da sequência 2, onde foram identificadas duas incisões de canal sucessivas de mais alta frequência. A sequência 3 representa queda pouco acentuada do nível de base, acompanhada pela progradação dos sistemas deposicionais. É possível notar equilíbrio entre progradações e retrogradações, com menor número de agrações.....	39
Figura 11. Modelo esquemático para a deposição da Formação Calumbi no Campo de Carapitanga e candidatos a reservatórios. ....	42

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

### Apresentação:

A caracterização sísmica de campos petrolíferos é de grande relevância pois permite aumentar o nível de conhecimento sobre suas propriedades geológicas. Em campos de produção de petróleo antigos, com estágio de produção em declínio e condicionados a rochas reservatório pouco espessas ou descontínuas, essa caracterização por vezes é inexistente. Nestes casos, informações sobre o modelo deposicional e continuidade lateral podem ser obtidos por meio da interpretação de seções sísmicas 2D, obtidas à época de exploração do campo, enquanto a espessura de uma determinada litologia pode ser determinada a partir da interpretação de dados de perfis de poços.

Nesse contexto está inserido o campo de Carapitanga (Figura 1), classificado como um campo de acumulação marginal, ou seja, um campo cuja produção em declínio pode levar a um dado empreendedor a considerá-lo inviável economicamente (Siqueira e Santos, 2008). Porém, esses campos ainda podem apresentar um aumento na sua vazão de produção desde que ocorram estudos de reservatório aliados a métodos de recuperação secundária, terciária e de elevação artificial de petróleo e gás. O campo foi descoberto na década de 80 e tem um volume estimado de óleo e de gás *in situ* de 197 mil m<sup>3</sup> e 21,1 milhões m<sup>3</sup>, respectivamente (ANP, 2005). No total foram perfurados cinco poços (1-CG-1-SE, 9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE e 7-CG-5D-SE), com profundidade média de 1.500 m. No entanto, atualmente apenas três poços são produtores (9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE) com uma vazão total próxima de um metro cúbico por dia.

O modelo de acumulação do Campo de Carapitanga é controlado, essencialmente, por trapas estratigráficas (ANP, 2005) e a unidade geológica produtora de óleo e gás é a Formação Calumbi, que representa o intervalo de deposição siliciclástica associada à fase drifte da bacia de Sergipe-Alagoas (Campos Neto *et. al.*, 2007), importante alvo de exploração de hidrocarbonetos (Rancan *et. al.*, 2009).

Apesar de sua importância, uma questão interessante ainda pouco discutida sobre a Formação Calumbi é o arranjo geométrico dos arenitos e de seu significado

paleoambiental. O modelo mais aceito para a deposição sedimentar do campo de Carapitanga contrasta com outras áreas da Bacia de Sergipe-Alagoas mais ao sul, onde ambientes plataformais sob influência de ondas (Souza Lima, 2001; Figueiredo, 2014) é proposto. Por outro lado, estudos apontam para o desenvolvimento de cânions que incidem na plataforma continental, originando depósitos de detritos (Koutsoukos, 1991; Cainelli, 1992; Feijó, 1994; Ronzê, 1995; Silva 2007).

Os resultados deste trabalho serão submetidos à revista Geologia - USP e estão no Capítulo II da dissertação. As normas de submissão da revista estão no Capítulo III.

### **Objetivos:**

O objetivo geral dessa dissertação foi avaliar dados de subsuperfície de um intervalo estratigráfico da Formação Calumbi, obtidos a partir do Campo de Carapitanga, como forma de melhorar a caracterização geológica da rocha reservatório do campo.

Para isso foram definidos os seguintes objetivos específicos:

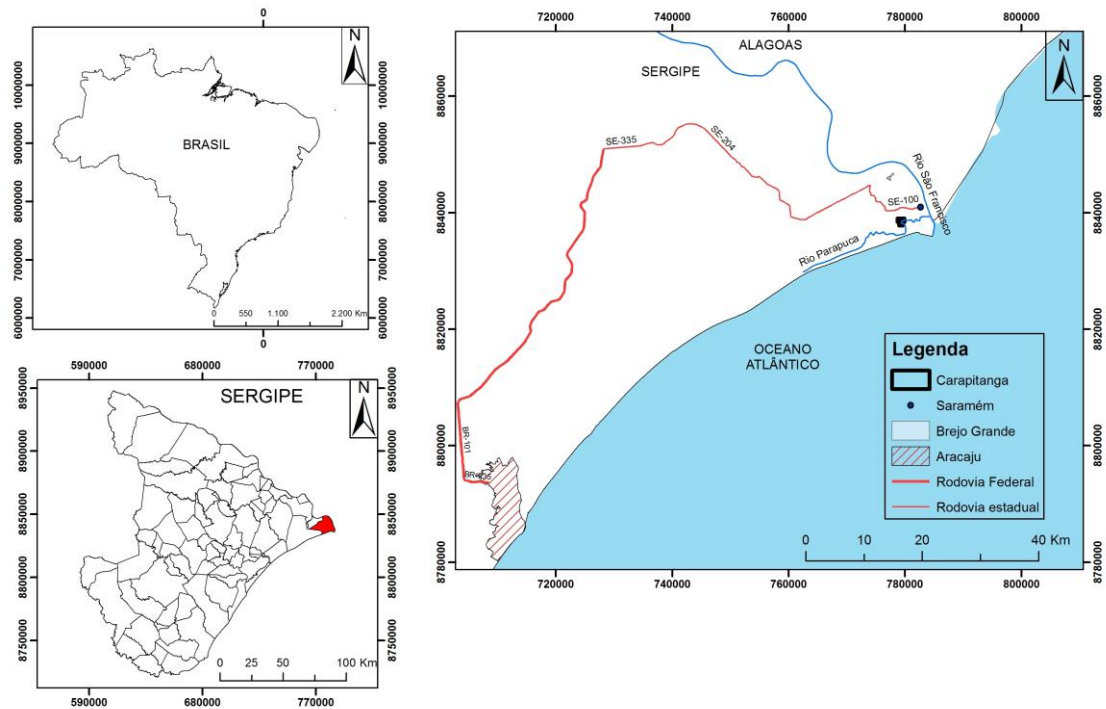
- Mapear padrões de terminação de refletores sísmicos, sismofácies e arquitetura externa dos refletores sísmicos;
- Correlacionar dados de perfis de poço com dados sísmicos;
- Inferir heterogeneidades arenosas e seu contexto deposicional para a Formação Calumbi no campo de Carapitanga.

### **Localização da área:**

O campo de Carapitanga está localizado a cerca de 110 km da cidade de Aracaju, no município de Brejo Grande, estado de Sergipe, próximo a foz do Rio São Francisco e possui *ring fence* de um quilômetro quadrado, situado na Ilha da Cruz (Figura 1).

O principal meio de acesso ao campo de Carapitanga é a partir da cidade de Aracaju através da rodovia BR-101 sentido norte, até a rodovia SE-335 e em seguida SE-204, de onde se percorre aproximadamente 40 km até a rodovia SE-100. A partir dela é realizado um percurso de cerca de 10 km até o povoado Saramém, onde existe

um pequeno porto para embarque, de onde é necessário seguir 5 km de barco até a Ilha da Cruz.



**Figura 1 - Mapa de localização e forma de acesso a área de estudo.**

### **Métodos de trabalho:**

Como forma de atingir os objetivos propostos foram adquiridos dados de cinco perfis de poços com profundidades médias de 1.500 m (1-CG-1-SE, 9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE e 7-CG-5D-SE) e de quinze seções sísmicas do campo de Carapitanga.

Cada conjunto de dados de poço era composto de informações litológicas de amostras de calha, informações petrofísicas (porosidade e permeabilidade), e perfis de poços (perfis de raios-gama, potencial espontâneo e resistividade). Estes dados foram gentilmente cedidos pela empresa EPG do Brasil. Os dados das linhas sísmicas do campo petrolífero de Carapitanga e adjacências foram fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), solicitação número 8791.

Os métodos utilizados para tratamento e interpretação de dados geofísicos foram adaptados da literatura especializada, que discutem formas de aquisição e interpretação de dados em bacias sedimentares (*e.g.* Selley, 2001; Miall, 2000).

Como forma de interpretar as seções sísmicas, caracterizar sismofácies e delimitar superfícies estratigráficas foram consultados e utilizados como referência para comparação os trabalhos de Catuneanu (2006) e Veeken (2007).

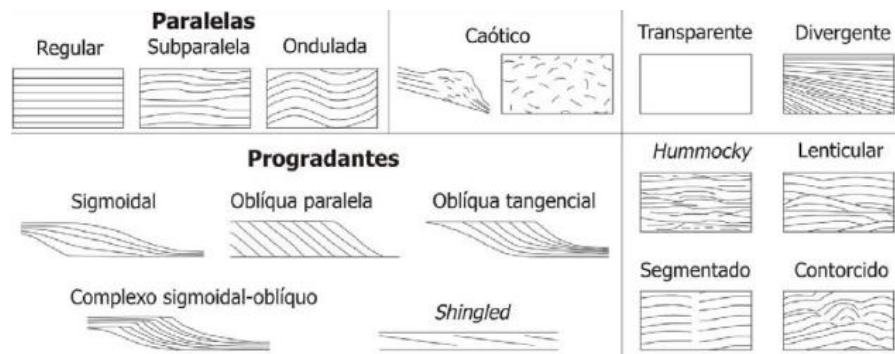
Considerando a qualidade dos dados, foram selecionadas oito das quinze linhas obtidas para a análise de refletores sísmicos e da forma de suas terminações, bem como de sua configuração interna e arranjo externo. Adicionalmente foi elaborado um sismograma sintético, através do perfil sônico e posteriormente a transferência das informações dos poços para as linhas sísmicas. Os dados sísmicos foram tratados, objetivando a redução de ruídos e para sua interpretação foram utilizados alguns atributos, seguindo a melhor prática de interpretação sísmica, tais como variância, TecVa e amplitude RMS.

Os dados de perfis de poços (perfis de raios-gama, potencial espontâneo e resistividade) foram interpretados com base nas propostas de Mitchum (1991), Veeken (2007) e Keary *et al.* (2009), o que auxiliou na identificação de litotipos e de propriedades petrofísicas como porosidade, permeabilidade, saturação de hidrocarbonetos, entre outros. Junto com a descrição e interpretação desses perfis foi realizada descrição das amostras de calha, que teve como base de comparação os trabalhos de Miall (1978) e Miall (2000), que descrevem técnicas de construção de perfis verticais e discutem a importância da construção e do uso de perfis litológicos de poço e de seções verticais litoestratigráficas na escala de afloramento para interpretação dos processos genéticos de cada litofácies.

A interpretação da geometria deposicional foi possível por meio da comparação direta entre os resultados da interpretação das linhas sísmicas e as respostas de cada perfil de poço, com dados da literatura especializada para modelos de ambientes sedimentares e sistemas deposicionais do registro geológico fluvial, costeiro raso e de marinho de águas profundas (Reading, 1996; Shanmugan, 1997; Shanmugan, 2000; Bouma, 2000; Posamentier & Walker, 2006; Favera, 2008; Miall, 2010).

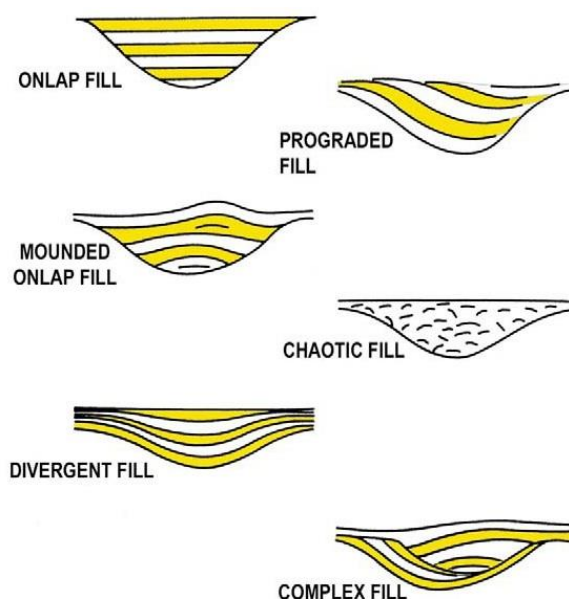
A configuração interna das reflexões (refletores sísmicos) e de suas terminações é o parâmetro que permite interpretar uma dada seção sísmica em termos de ambientes

deposicional e distribuição de formas geométricas da escala da bacia (Mitchum et.al., 1991). Estes padrões podem ser descritos como sismofácies, que podem sugerir uma correlação direta com a migração de formas arenosas progradacionais, retrogradacionais ou agradacionais, ou com presença de falhas e rochas do embasamento, conforme cada padrão (Figura 2).



**Figura 2. Configuração interna dos padrões de refletores sísmicos mais comuns (Pereira, 2008).**

O arranjo externo do conjunto de refletores sísmicos representa a forma tridimensional e expressão em área das sismofácies. Geometrias em lençol apresentam padrões de refletores sub-paralelos e ondulados. Cunhas e bancos podem indicar quebra súbita da sedimentação, enquanto que geometrias do tipo *mounds* implicam em um grande acúmulo de deposição e mostram diversidade de reflexões internas. Formas de lente ou leques tem padrão interno de refletores variados, apresentando terminações *onlap* e *downlap*. Outro tipo de arranjo é denominado de preenchimento erosivo, representando sistemas de cânions e canais distributários relacionados a leques aluviais (Figura 3).



**Figura 3. Padrões externos de erosão e preenchimento de canal (Veeken, 2007).**

A análise conjunta dos resultados dos perfis de poços com aqueles obtidos a partir da interpretação geométrica das linhas sísmicas foi fundamental para inferir sismofácies e aventar tratos de sistema e sistemas deposicionais. Um dos métodos utilizados para calibração da sísmica é através do perfil sônico, que determina as velocidades sísmicas das formações atravessadas, fornecendo as velocidades para a conversão de tempos de reflexão em profundidade (Kearey *et al.*, 2009). Dentre os cinco poços disponíveis, apenas o do poço 1-CG-01-SE foi fornecido perfil sônico, e este foi utilizado para a conversão possibilitando definir, inicialmente na interpretação sísmica, superfícies correspondentes aos topos de cada formação mapeada.

Por fim, após o tratamento dos dados sísmicos e de perfis de poços foram utilizados dados de descrição de amostras de calha e de testes de formação armazenados da época da perfuração dos poços como forma de auxiliar na interpretação. Cada um destes dados está disponível na forma de documentos impressos que foram comparados um a um, à medida que interpretações eram obtidas.



## Bibliografia

- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2005. Resumo para 7ª Rodada de Licitações. Área de Carapitanga, Rio de Janeiro. 10 p.
- Bouma, A. H. 2000. Coarse-grained and fined-grained turbidite systems as end member models applicability and dangers. *Marine and petroleum geology*, **17**: 137-143.
- Cainelli, C. 1992. *Sequence stratigraphy, canyons, and gravity mass flow deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil*. Tese (Doutorado). Austin: The University of Texas, Estados Unidos.
- Campos Neto, O.P.A, Souza-Lima, W., Cruz, F.E.G. 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, **15**: 405-415.
- Catuneanu, O. (ed.). 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Edmonton, Elsevier. 387 p.
- Favera, J. G. D. 2008. Ambientes Marinhos Rasos. In: Silva, A. J. C. L. P., Aragão, M. A. N. F., Magalhães, A. J. C. (eds.) *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*. São Paulo, Petrobras. 338 p.
- Feijó, F. J. 1994. Bacias de Sergipe e Alagoas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8 (1): 149-161.
- Figueiredo, M. N. 2014. *Modelos deposicionais comparados dos reservatórios areníticos santonianos-campanianos da Formação Calumbi, bacia Sergipe-Alagoas*. Dissertação (Mestrado). São Cristóvão: Programa de Pós Graduação em Geociências e Análises de Bacias, Universidade Federal de Sergipe.
- Keary, P., Brooks, M., Hill, I. 2009 (eds.). *Geofísica de Exploração*. São Paulo, Oficina de Textos. 438 p.
- Koutsoukos, E. A. M., Beurlen, G. 1991. Análise paleobiocenótica de foraminíferos bentônicos do Cretáceo Superior da Bacia de Sergipe pelo método Braun-Blanquet. *Boletim de Geociências Petrobras*, 5(1/4): 5-16.
- Miall, A. D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: *Fluvial Sedimentology*, vol 5, Memoir of Canadian Society of Petroleum Geology, 859p.
- Miall, A. D (ed.). 2000. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Heidelberg, Springer. 634 p.
- Miall, A. D (ed.). 2010. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Heidelberg, Springer. 634 p.

Mitchum, R. M., Wagoner, J. C. V. 1991. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. *Sedimentary geology*, 70: 131-160.

Pereira, C. M. (2008). *Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas em perfis sísmicos localizados na Lagoa dos Patos, RS-Brasil*. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Posamentier, H. W., Walker, R. G. Deep-water turbidites and submarine fans. In Posamentier, H. W., Walker, R. G. (eds.). 2006. *Facies Models Revisited*. Tulsa, Society of Sedimentary Geology, Especial Publication, **84**, 532 p.

Reading, H.G. (ed.). 1996. *Sedimentary Enviroments: Process, Facies and Stratigraphy*. Oxford, Blackwell Science Ltd. 326 p.

Rancan, C.C., Lira, F.S., Nishimura, E.M., Araújo, A.L.N. 2009. O soerguimento do domínio Macururé e sua influência na sedimentação turbidítica no Crétaceo Superior da Sub-bacia de Sergipe, Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, **17**: 45-67.

Ronzê P.C. 1995. Petrologia e características de reservatórios dos turbiditos cretácicos da Formação calumbi, bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

Siqueira, M., Santos, R. C. C. 2008. Os campos maduros de petróleo e o desenvolvimento regional: o caso do nordeste brasileiro. *XVII Congresso Nacional do CONPEDI*, Brasília.

Selley, R. (ed.). 2001. *Applied Sedimentology*. London, Academic Press. 525 p.

Shanmugan, G. 1997. The Bouma Sequence and the Turbidite Mind Set. *Earth Science Reviews*, **42**: 201-229.

Shanmugan, G. 2000. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models – a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, **17**: 285-342.

Silva, B. O. 2007. Evolução, geometria e preenchimento do complexo de canyons de Brejo Grande, Bacia de Sergipe-Alagoas. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Souza-Lima, W. 2001. *Macrofaunas campanianas e ambientes deposicionais da Formação Calumbi, bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Veeken, P.C.H. 2007. Seismic Stratigraphy, Basin Analysis And Reservoir Characterization. In: Helbig, K., Treitel, S. (eds). Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration, 37, Oxford, Elsevier, 523 p.

## **CAPÍTULO II – ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GEOLOGIA-USP SÉRIE CIENTÍFICA:**

### **Modelo deposicional de cânions submarinos da Formação Calumbi no campo petrolífero de Carapitanga, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas**

*Submarine canions depositional model of Calumbi Formation in the Carapitanga oil field, drift phase of Sergipe-Alagoas Basin*

Sísmica da Fm. Calumbi no campo de Carapitanga

*Isabela Ramos Soares<sup>1</sup>, Felipe Torres Figueiredo<sup>2</sup>, German Hernandez Menezes<sup>3</sup>*

1 Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil. Telefone: (79)99924-9160. E-mail: soares.isabelar@gmail.com.

2 Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. E-mail: ftfigueiredo@gmail.com.

3 Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. E-mail: germanmeneher77@gmail.com.

## **RESUMO**

A Formação Calumbi, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas, apesar de ter importante papel na produção de hidrocarbonetos, tem sua geologia pouco discutida abertamente. O campo de Carapitanga é um campo de acumulação marginal localizado na área norte da bacia e produtor de petróleo e gás nesta Formação. O presente trabalho realizou a análise sísmica, aplicando os conceitos de interpretação sismoestratigráfica, como terminações, padrões externos e arquitetura externa de refletores, permitiu o reconhecimento e mapeamento de sismofácies que, por sua vez, permitiram inferir superfícies limitantes, sendo identificados eventos transgressivos e regressivos ao longo da deposição da Formação na área do campo. Este mapeamento reconhece, também, a presença de cânions de cerca de 4km que se reposicionam ao longo do tempo geológico, sugerindo modelo deposicional para esta área do campo de Carapitanga.

**Palavras-chave:** Formação Calumbi; Campo de Carapitanga; Sismoestratigrafia.

## **ABSTRACT**

The Calumbi Formation, drift section of the Sergipe-Alagoas Basin, although having an important role in the production of hydrocarbons, has its geology not discussed openly. The Carapitanga field is a marginal accumulation field located in the northern area of the basin and oil and gas producer in this Formation. The present work carried

out the seismic analysis, applying the concepts of seismostratigraphic interpretation, such as terminations, external patterns and external architecture of reflectors, which allowed the recognition and mapping of sismofacies that, in turn, allowed inferring limiting surfaces, identifying transgressive and regressive events along the deposition of the Formation in the field area. This mapping also recognizes the presence of canyons of about 4km that reposition themselves along the geological time, suggesting a depositional model for this area of the Carapitanga field.

**Keywords:** Calumbi formation; Carapitanga field; Seismostratigraphic.

## INTRODUÇÃO

A caracterização sísmica de campos petrolíferos é de grande relevância, pois permite aumentar o nível de conhecimento sobre suas propriedades geológicas. Em campos de produção de petróleo antigos, com estágio de produção em declínio e condicionados a rochas reservatório pouco espessas ou descontínuas, essa caracterização por vezes é inexistente. Nesse contexto está inserido o campo de Carapitanga (**Fig.1**), classificado como um campo de acumulação marginal, ou seja, um campo cuja produção em declínio pode levar a ser considerado inviável economicamente (Siqueira e Santos, 2008). No entanto, esses campos ainda podem apresentar um aumento na sua vazão de produção desde que ocorram estudos de reservatório aliados a métodos de recuperação e de elevação artificial de petróleo e gás. Informações sobre o modelo deposicional e continuidade lateral podem ser obtidos por meio da interpretação de seções sísmicas 2D, obtidas à época de exploração do campo, enquanto a espessura de uma determinada litologia pode ser determinada a partir da interpretação de dados de perfis geofísicos de poços.

O campo de Carapitanga foi descoberto na década de 80 e tem um volume estimado de óleo e de gás *in situ* de 197 mil m<sup>3</sup> e 21,1 milhões m<sup>3</sup>, respectivamente (ANP, 2005). No total foram perfurados cinco poços (1-CG-1-SE, 9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE e 7-CG-5D-SE), com profundidade média de 1.500 m. No entanto, atualmente apenas três poços são produtores (9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE) com uma vazão total próxima de um metro cúbico por dia. O modelo de acumulação do campo é controlado, essencialmente, por trapas estratigráficas (ANP, 2005) e a unidade geológica produtora de óleo e gás é a Formação Calumbi, que representa o intervalo de deposição siliciclástica associada à fase drifte da bacia de Sergipe-Alagoas (Campos Neto *et. al.*, 2007), importante alvo de exploração de hidrocarbonetos (Rancan *et. al.*, 2009).

Apesar de sua importância, uma questão interessante ainda pouco discutida sobre a Formação Calumbi no Campo de Carapitanga é o arranjo geométrico dos arenitos e de seu significado paleoambiental. O modelo mais aceito para a deposição sedimentar do campo de Carapitanga contrasta com outras áreas da Bacia de Sergipe-Alagoas mais ao sul, onde ambientes plataformais, sob influência de ondas é proposto (Souza Lima, 2001; Figueiredo, 2014). Por outro lado, outros estudos apontam para o desenvolvimento de cânions que incidem na plataforma continental, originando depósitos sedimentares influenciados por fluxos gravitacionais de massa em áreas

afastadas a poucas dezenas de quilômetros ao norte do campo (Koutsoukos e Beurlen, 1991; Cainelli, 1992; Feijó, 1994; Ronzê, 1995; Silva 2007).

No sentido de testar os modelos propostos e contribuir com novas inferências paleoambientais a partir da distribuição geométrica em sub-superfície da Formação Calumbi, o presente trabalho traz dados inéditos de sísmica e perfis de poços que podem auxiliar no entendimento da evolução do sistema de cânions submarinos da unidade na região do Campo de Carapitanga e adjacências.

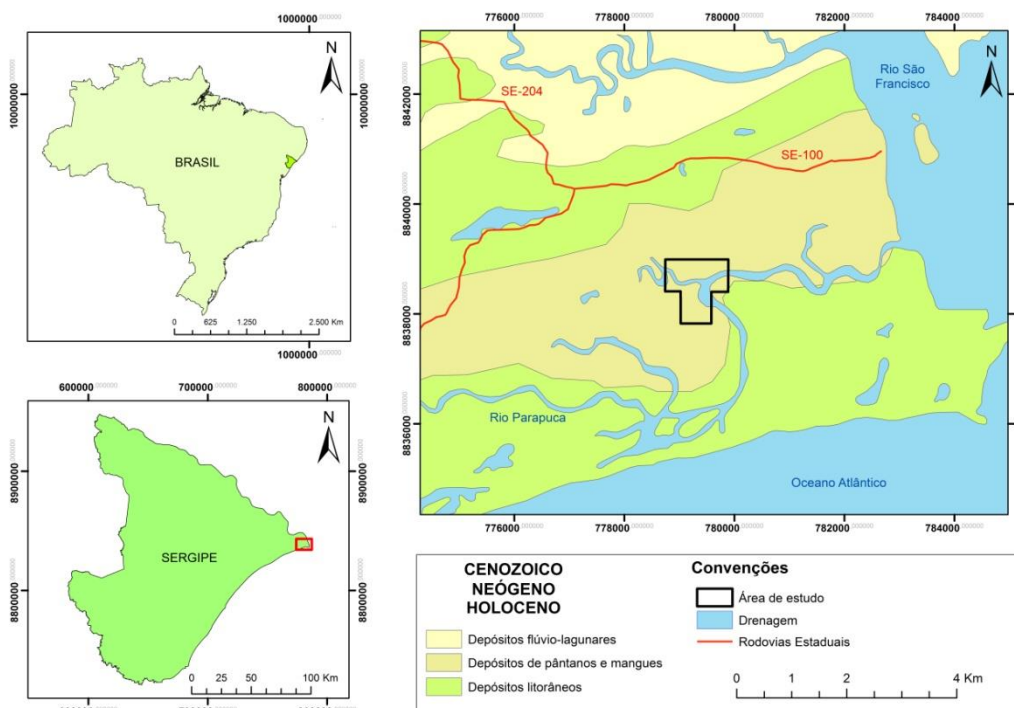


Figura 1. Localização da área de estudo e principais vias de acesso.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia de Sergipe-Alagoas está situada nos estados homônimos do Nordeste do Brasil e faz parte de um conjunto de bacias sedimentares formadas a partir da fragmentação da porção oeste do supercontinente Gondwana, que preserva no registro geológico e fóssil evidências da sedimentação transcorrida desde o NeoJurássico ao Eocretáceo. Do ponto de vista fisiográfico a bacia está inserida na margem continental oriental brasileira, tem direção alongada segundo a orientação NE-SW e perfaz um total de 44.370 km<sup>2</sup> de área. O contorno estrutural geométrico mais aceito é definido a partir de estruturas rúpteis-dúcteis que a delimitam de rochas do embasamento Pré-Cambriano e de rochas de bacias paleozoicas e mesozoicas penecontemporâneas.

A oeste, de forma paralela ao seu eixo maior está em contato lateral por meio de uma falha de movimentação normal, por vezes lístrica, com rochas de baixo a alto grau metamórfico da Faixa de Dobramentos Sergipana. O limite sul se dá com a Bacia de Jacuípe através da plataforma de Estância, enquanto que a norte o contato é delimitado por meio da identificação do alto estrutural de Maragogi, a partir de onde se inicia a Bacia Pernambuco-Paraíba (Fig.2). O registro sedimentar da bacia compreende cinco megassequências: sinéclise, pré-rifte, rifte, transicional e drifte (Jardim de Sá *et al.*, 2008).

O Grupo Piaçabuçu, no qual está inserida a Formação Calumbi, corresponde às fases transicional e drifte, intervalo em que o processo de subsidência térmica foi dominante, levando ao aprofundamento da bacia e à deposição de espessa sucessão de sedimentos em águas profundas (Figueiredo, 1990). A base deste grupo é separada de rochas carbonáticas subjacentes por uma superfície discordante, que marca a mudança

de sedimentação carbonática para siliclástica na bacia, acompanhada de um evento de recuo da linha de costa, seguido por intensa erosão da planície costeira e da plataforma exposta. Em consequência da nova elevação do nível de base marinho, no Cretáceo superior esta plataforma teria sido recoberta gerando novo espaço para acomodação de sedimentos, desta vez num contexto transgressivo, no qual foram preservados, principalmente, folhelhos que compõem a Formação Calumbi (Campos Neto *et al.*, 2007).

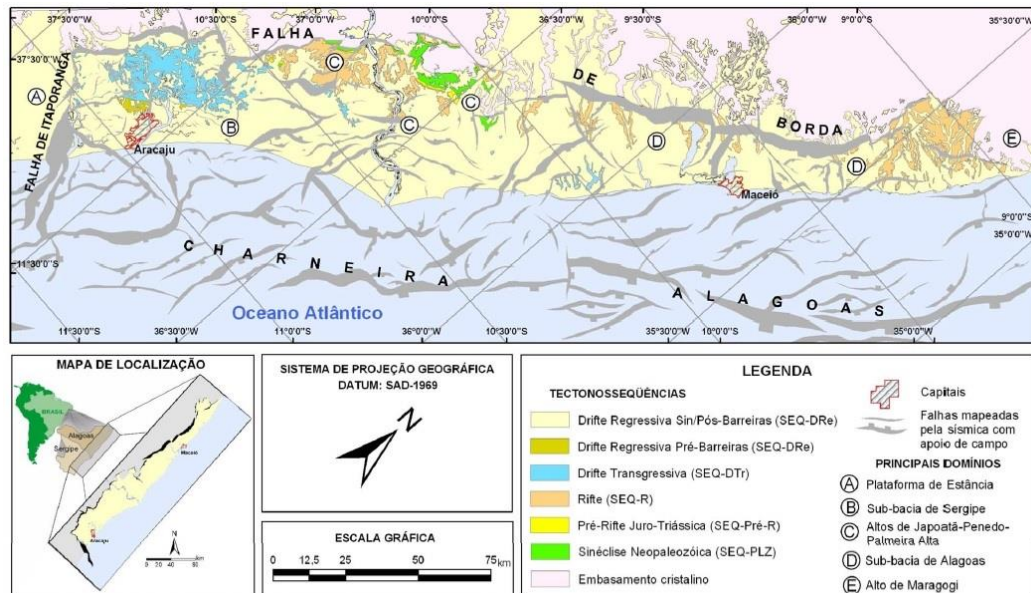


Figura 2. Estruturação tectônica da Bacia Sergipe-Alagoas (Jardim de Sá *et al.*, 2008).

### Estratigrafia e sedimentação da Formação Calumbi

A Formação Calumbi tem sido alvo de pesquisas direcionadas para interpretação paleoambiental, principalmente por meio de dados de subsuperfície, visando intervalos de reservatório de óleo e gás (Ponte *et. al*, 1975; Cainelli, 1992; Feijó 1994; Silva 2007; Rancan *et. al.*, 2009), com poucos trabalhos dedicados a estudos de afloramento (Souza-Lima, 2001; Figueiredo, 2014).

Ponte *et. al*, (1975) descreveram próximo ao campo de Carapitanga, alvo do presente estudo, arenitos interpretados como produtos de fluxos gravitacionais e de leques submarinos.

Estes arenitos foram subdivididos por Cainelli (1992) em quatro seqüências deposicionais: 1- Cretáceo Superior, 2- Paleoceno, 3- Eoceno e 4- Oligoceno / Quaternário. O limite da seqüência inferior é conhecido como discordância Pré-Piaçabuçu ou Pré-Calumbi (Schaller, 1969) desenvolvida após a queda regional do nível de base, que teria causado a sub-exposição de uma plataforma carbonática e sua erosão por meio do ajuste do perfil de equilíbrio do sistema fluvial.

Segundo Cainelli (1992) a sedimentação inicial (Seqüência 1 – Cretáceo superior) teria ocorrido por meio do *bypass* de formas de leito arenosas, interpretadas a partir de clinoformas progradantes com altos ângulos de downlap sobre a base da unidade, entre os períodos Campaniano / Maastrichtiano. A exposição da plataforma, correspondente a Formação Cotinguiba, teria perdurado até o Santoniano, quando a subida do nível de base teria condicionado maior espaço para acomodar sedimentos



siliciclásticos ao longo da nova superfície de talude e bacia oceânica. A sedimentação durante o Paleoceno (Sequência 2) obedece a um padrão de terminação de refletores em *onlap* ainda em desenvolvimento, onde as fácies de plataforma foram formadas predominantemente por arenitos, localmente intercalados com carbonatos no limite da plataforma. A sedimentação do Eoceno foi precedida por uma discordância bem definida que corta o talude do Paleoceno e plataforma externa. A sedimentação do Eoceno (Sequência 3) representa um pulso progradacional, empurrando o limite da plataforma para o fundo da bacia, e preenchendo por meio de clinoformas de alto ângulo criadas por cânions associados com a discordância pré-Eoceno. Durante esse tempo uma plataforma mista clástica-carbonática é estabilizada, com arenitos de plataforma costeira gradando em direção ao mar para carbonatos ao longo do limite da plataforma. Ao fim do Eoceno, o limite da paleoplataforma é perto da plataforma atual. Durante o Mioceno, uma grande influência das correntes oceânicas retrabalhou sedimentos trazidos por rios para plataforma e os redistribuiu paralelos a linha de costa de Sergipe, longe do aporte terrígeno, o que condicionou a formação de carbonatos.

Feijó (1994) organizou estes depósitos em três unidades litoestratigráficas pertencentes ao Grupo Piaçabuçu, sendo a Formação Calumbi a unidade da base.

Na região de Nossa Senhora do Socorro, 100 km ao sul da área de estudo, a unidade é formada por camadas tabulares de até 70 cm de arenitos quartzosos, com grãos muito bem selecionados, ricos em icnofácies *Ophiomorpha nodosa* e *Thalassinoides*, intercalados com espessos depósitos de folhelhos e siltitos laminados (Souza Lima, 2001). Segundo este autor esta associação litológica e de icnofácies é compatível com paleoambientes formados por barras subaquosas ao longo de sistemas marinhos plataformais rasos, dominados ou não pela ação de ondas de tempo bom ao longo do *shoreface*. Apesar disso, a variabilidade da distribuição ecológica da associação de icnofácies identificada pode indicar um contexto deposicional alternativo, em águas mais profundas, abaixo do nível de base de ondas de tempestade, provavelmente sob influência de correntes de turbidez ao longo de canais submarinos, de forma semelhante a interpretação de Cainelli (1992) para a porção norte da bacia.

Segundo Silva (2007) estes cânions submarinos ocorrem ao longo de toda a Formação Calumbi. A discordância Pré-Calumbi é exemplo do primeiro cânion que teria escavado folhelhos na base da unidade, sendo logo sobreposta pelo complexo de cânions de Brejo Grande ao longo do Cretáceo, que são preenchidos por arenitos dentro de formas canalizadas, preservadas em duas fases de sedimentação (Fig. 3).

Durante a primeira fase desenvolveu-se a escavação dos cânions com a formação de depósitos de fluxos de detritos. A segunda fase, descrita como fase de *bypass*, marca o período em que o cânion funcionou como conduto de sedimentos para parte mais profunda da bacia. Nesse tempo teria ocorrido o desenvolvimento de depósitos de *lags* conglomeráticos, de pequena espessura. Na terceira fase os cânions passam a receber a maior quantidade de sedimentos. Nesta etapa formaram-se os complexos de canais e folhelhos por meio de processos de escorregamentos. A última fase, definida como cunha progradante só foi identificada em outra área do complexo de cânions, denominado de Cânion de Aroeira, cuja característica marcante é a presença de refletores em *downlap* sobre os complexos de canais da fase três.

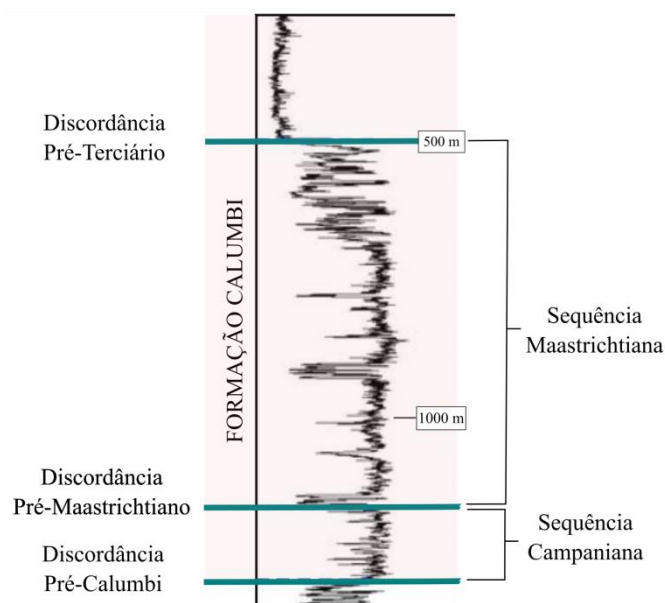


Figura 3. Sequências deposicionais da Formação Calumbi a partir de perfis de raios-gama (Modificada de Silva, 2007).

Rancan et. al., 2009 confirmam a interpretação de fluxos gravitacionais de massa e de correntes de turbidez para a unidade, além da existência de sistemas costeiros distais anteriormente descritos por Souza-Lima (2001). Posteriormente, Figueiredo (2014), aos estudar afloramentos e lâminas de rocha da Formação Calumbi na região de Aracaju, corroborou com a interpretação de ambientes plataformais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho dados de cinco perfis geofísicos de poços com profundidades médias de 1.500 m (1-CG-1-SE, 9-CG-2-SE, 7-CG-3D-SE, 7-CG-4D-SE e 7-CG-5D-SE) e quatro seções sísmicas do campo de Carapitanga. Cada conjunto de dados de poço era composto de informações litológicas de amostras de calha, informações petrofísicas (porosidade e permeabilidade), e perfis geofísicos de poços (de raios-gama, potencial espontâneo, neutrão e resistividade). Dentre os cinco perfis de poços disponíveis foi fornecido perfil sônico apenas para o poço 1-CG-01-SE, que foi utilizado para a conversão de tempo de reflexão em profundidade (Kearey et al. 2009). Estes dados foram cedidos pela empresa EPG do Brasil. Os dados das linhas sísmicas do campo petrolífero de Carapitanga e adjacências foram fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), solicitação número 8791.

Os métodos utilizados para tratamento e interpretação de dados geofísicos foram adaptados da literatura especializada, que discutem formas de aquisição e interpretação de dados em bacias sedimentares (*e.g.* Selley, 2001; Miall, 2000).

Adicionalmente foi elaborado um sismograma sintético, através do perfil sônico e posteriormente a transferência das informações dos poços para as linhas sísmicas. Os dados sísmicos foram tratados, objetivando a redução de ruídos e para sua interpretação foram utilizados alguns atributos, seguindo a melhor prática de interpretação sísmica, tais como variância, TecVa e amplitude RMS.

Como forma de interpretar as seções sísmicas, caracterizar sismofácies, analisar padrões e terminações de refletores sísmicos, delimitar arranjos internos e externos foram consultados e utilizados como referência para comparação os trabalhos de Catuneanu (2006) e Veeken (2007). Os dados de perfis geofísicos de poços (de raios-gama, potencial espontâneo, neutrão e resistividade) foram interpretados com base nas propostas de Mitchum e Wagoner (1991), Veeken (2007) e Keary *et al.* (2009), o que auxiliou na identificação de litotipos e teve como base de comparação os trabalhos de Miall (1978) e Miall (2000), que descrevem técnicas de construção de perfis verticais e discutem a importância da construção e do uso de perfis litológicos de poço e de seções verticais litoestratigráficas na escala de afloramento para interpretação dos processos genéticos de cada litofácies.

A interpretação da geometria deposicional foi possível por meio da comparação direta entre os resultados da interpretação das linhas sísmicas e as respostas de cada perfil de poço, com dados da literatura especializada para modelos de ambientes sedimentares e sistemas deposicionais do registro geológico fluvial, costeiro raso e de marinho de águas profundas (Shanmugan, 2000; Reading, 1996; Bouma, 2000; Posamentier e Walker, 2006; Miall, 2010).

A análise conjunta dos resultados dos perfis geofísicos de poços com aqueles obtidos a partir da interpretação geométrica das linhas sísmicas foi fundamental para inferir sismofácies e aventar tratos de sistema.

## **RESULTADOS**

Foram utilizadas quatro seções sísmicas, dentre as quais apenas a linha dois-quatro intercepta o campo de Carapitanga, de forma paralela a linha de costa atual da área. As demais seções abrangem áreas adjacentes ao campo e têm orientação oblíqua (Fig. 4).

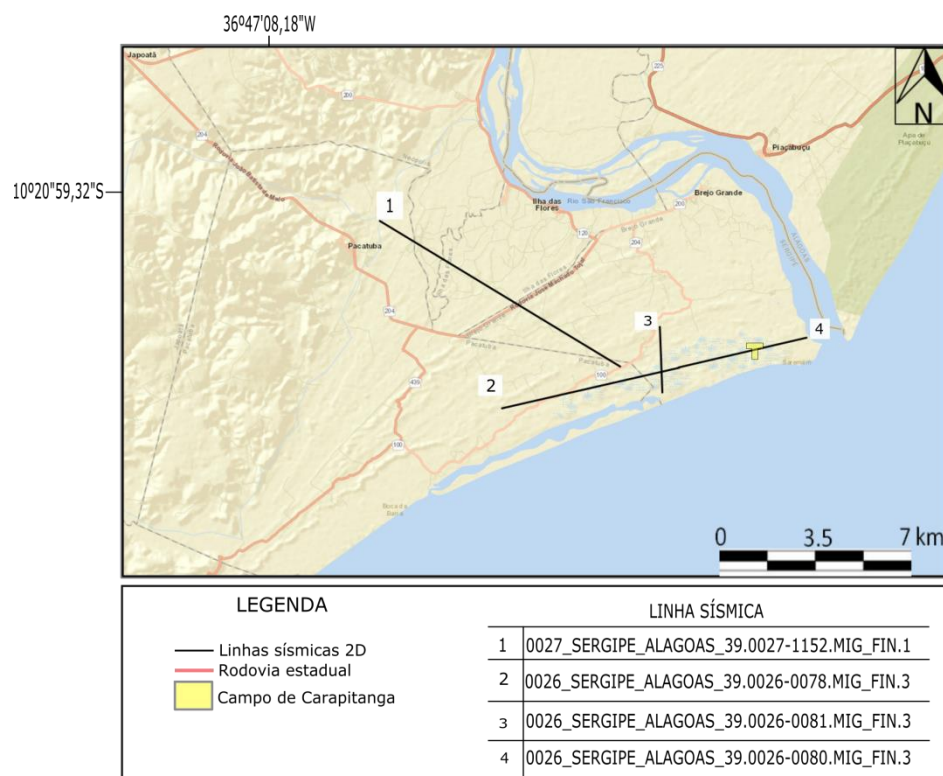


Figura 4. Localização das linhas sísmicas.

A partir da comparação dos dados da linha sísmica dois-quatro (Fig. 4) com os dados do poço 1-CG-1-SE foi possível construir a curva tempo-profundidade (Fig. 5), com o auxílio do perfil de raios sônico, por meio de seu ajuste através do sismograma sintético.

### Perfis de raios gama e neutrão

O perfil de raios gama atravessou mais de 1500 m de profundidade, e ao longo do intervalo de tempo 700 ms a 1200 ms registrou poucas variações, sendo duas delas interpretadas como a base e o topo da Fm. Calumbi. Neste intervalo notou-se também pouca variação do perfil neutrão, que aumenta de valor na base da unidade. A base foi marcada e definida pela comparação da queda brusca nos valores do perfil de espectometria gama com os litotipos descritos nos perfis de poços (Fig.5). Valores mais baixos de raios gama são indicadores de menor argilosidade ao longo do limite inferior da unidade, que pelo perfil litológico é marcado pela passagem de folhelhos para arenitos do topo da Fm. Cotinguiba.

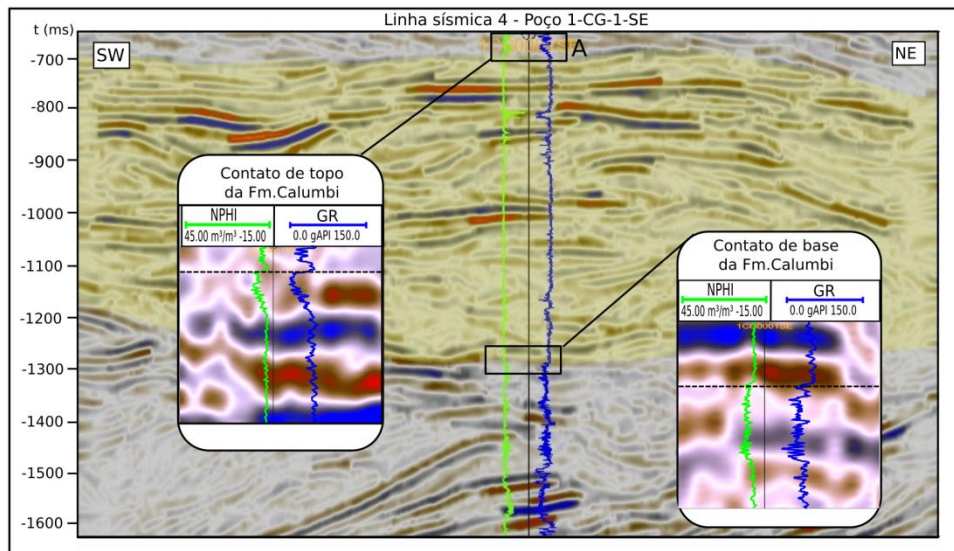


Figura 5. Intervalo em subsuperfície interpretado para a Formação Calumbi no campo de Carapitanga.

### Refletores sísmicos e sismofácies

A análise do conjunto de refletores sísmicos permitiu interpretá-los em 6 sismofácies: (*Sf1*) *caótica*, (*Sf2*) *segmentada*, (*Sf3*) *sub-paralela*, (*Sf4*) *oblíqua*, (*Sf5*) *divergente*, e (*Sf6*) *ondulada* (Figs. 6 e 7).

#### *Sf1 – Sismofácies caótica*

Este padrão ocorre com frequência ao longo do intervalo pertencente à Formação Calumbi. Pode ocorrer associada ao preenchimento de formas canalizadas, sendo sobreposta, em sua maioria, por refletores paralelos. Nas linhas sísmicas, o padrão caótico é caracterizado pela descontinuidade dos refletores e discordâncias, dificultando o seu mapeamento.

#### *Interpretação*

A deposição caótica é característica de depósitos de fluxos gravitacionais ou depósitos de areia retrabalhados de fundo de canal. Na base da seção pode indicar a presença de rochas do embasamento, onde a diferença de impedância acústica das camadas é menor.



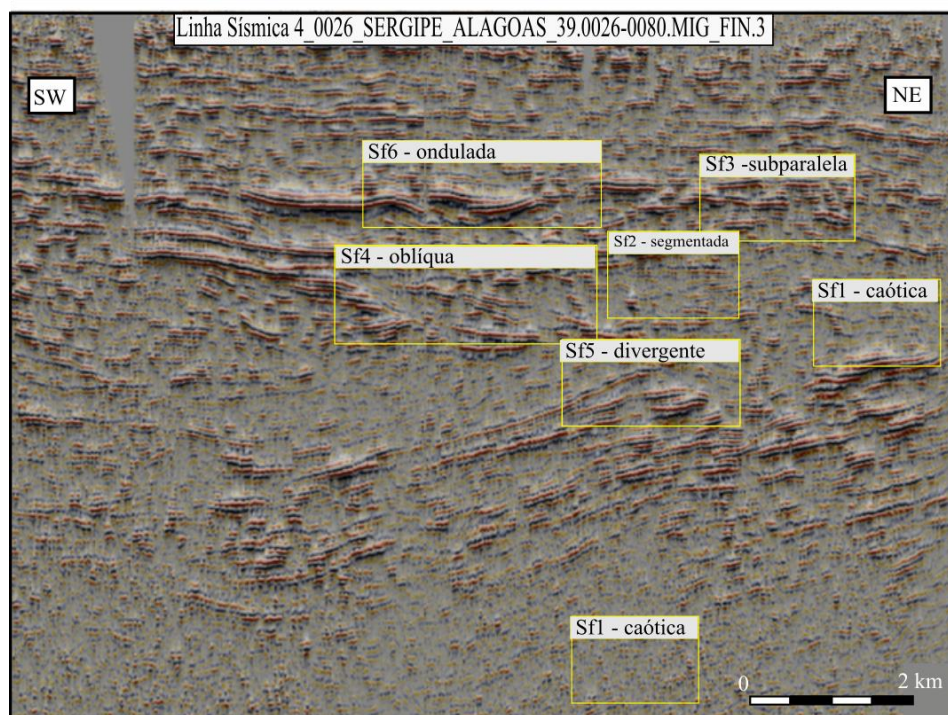


Figura6. Sismofácies identificadas ao longo da sismica que intercepta o campo de Cartapitanga.

#### *Sf2 - Sismofácies segmentada*

Esta sismofácies compreende o conjunto de refletores segmentados, comuns na porção superior da seção, próximo ao limite de topo da unidade, no topo do centro de formas canalizadas e sobre a Formação Calumbi. Correspondem a discontinuidades laterais dos refletores regulares (r3) e, raramente, de refletores sigmoidais, principalmente sobre o intervalo onde as formas canalizadas suavizam o mergulho.

#### *Interpretação*

Pode-se atribuir a estes refletores uma origem tectônica, o que corresponderia a superfícies deposicionais associadas à falhas com geração e preservação de altos baixos estruturais.

#### *Sf3 – Sismofácies sub-paralela*

Esta sismofácies compreende o conjunto de refletores sub-paralelos, cuja frequência é a maior dentre todos na seção, podendo apresentar variações laterais de sub-paralelos para refletores regulares e *hummocky*, sendo o primeiro mais comum. Cada sub-tipo de refletor varia entre si lateralmente e para o topo. Podem ocorrer preenchendo geometrias pouco canalizadas a canalizadas, tendo como terminação padrões em *onlap*, *downlap* e em truncamento erosivo. Estes dois últimos tipos de terminação ocorrem em lados opostos de superfícies de base de canal, normalmente na porção basal e intermediária da seção (Fig. 6). Quando ocorrem preenchendo geometrias pouco canalizadas podem permanecer regulares por 5 km de extensão. Isto é

observável na porção superior da seção, onde variam localmente para os lados para refletores ora segmentados, ora tangenciais ou sigmoidais. No topo de cada conjunto deste padrão é possível observar refletores ondulados de maior extensão (r2), que recobrem ao mesmo tempo refletores muito ondulados (r1) e refletores paralelos (r4).

### *Interpretação*

Este padrão de refletor é o mais comum nas seções e pode ser interpretado como preenchimento regular na parte interna do topo do canal submarino, e principalmente nas margens onde é mais extenso. No topo pode ser interpretado como produto de aggradação deposicional, enquanto que nas margens sua origem pode estar relacionada a deposição regular de forma mais lenta por decantação de lama por extravasamento do canal principal (Veeken, 2007) (Fig. 6).

### *Sf4 – Sismofácies oblíqua*

A sismofácies oblíqua compreende conjunto de refletores que podem variar para sigmoidais ou tangenciais. Ela é comum na seção, e está normalmente limitada na porção central e superior, onde podem ocorrer como uma transição lateral de refletores paralelos que variam para clinoformas tangenciais ou sigmoidais, associados a terminações em *downlap* para oeste e para leste, com 1,5 km de extensão e 500 m de espessura (Fig.7). No centro da seção podem transicionar para refletores segmentados, além de raramente poder terminar como *downlap* e *offlap* ao longo do mesmo refletor. As reflexões oblíquas apresentam mergulho bem marcado na base do pacote, suavizando em direção ao topo. Estas reflexões possuem contato basal do tipo *downlap* sobre o truncamento da fácies sísmica sotoposta. No limite superior possui contato tipo *toplap* com fácies plano-paralelas sotopostas. Sobreposta a estes refletores, foram mapeados reflexões subparalelas que apresentam refletores com terminações *downlap* e *toplap* que, por vezes, são erodidos pela presença de canais.

### *Interpretação*

As reflexões oblíquas, tangencias e sigmoidais tem mergulho suave e foram interpretadas como progradação do sistema deposicional em baixo ângulo com o relevo anterior. O contato basal do tipo *downlap* sobre o truncamento da fácies sísmica sigmoidal com a subparalela, pode ser a descontinuidade marcante de limite de sequência reconhecida e mapeada no trabalho de Silva (2007). A arquitetura externa formada pelo arranjo sísmico pode evidenciar um ambiente de deposição de leques submarinos.

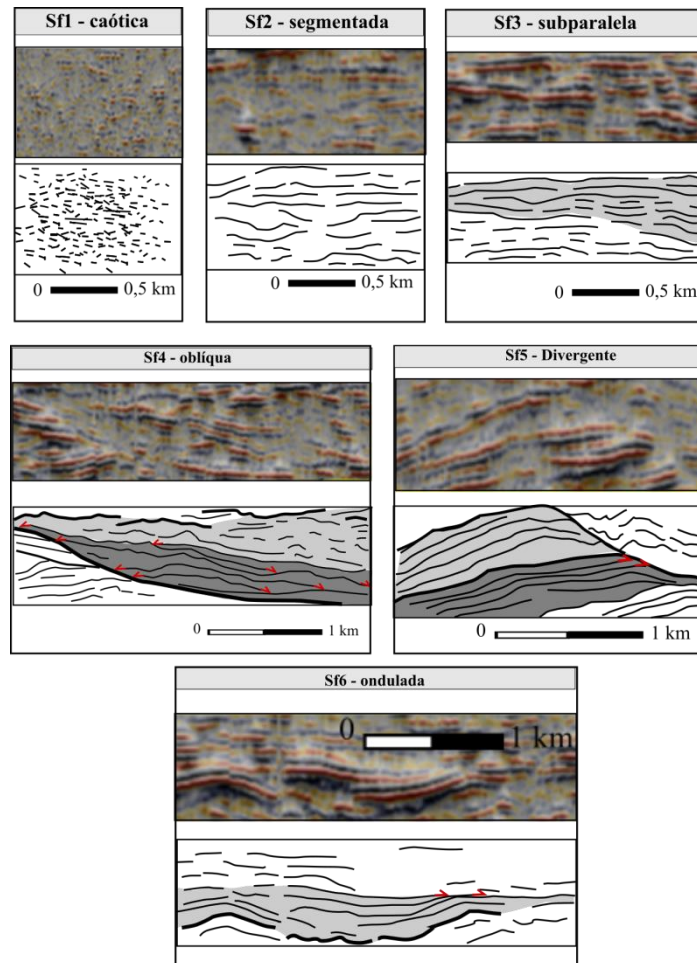


Figura 7. Resumo das sismofácies interpretadas e principais geometrias associadas a suas terminações. (*Sf4*) *Oblíqua* - Notar formas inclinadas com padrão de preenchimento agradacional para retrogradacional até a última terminação em *onlap* na extrema esquerda (cinza escuro). Ao centro aparece a primeira terminação em *offlap*, indicando possível progradação e expansão do fluxo dado pelos refletores segmentados a pouco caóticos (cinza claro). (*Sf5*) *Divergente* – Migração lateral de barras arenosas para SW (esquerda – cinza escuro) com construção de dique marginal para o topo (cinza claro) e preenchimento de canal à direita por refletores segmentados interpretados como escorregamentos (branco). (*Sf6*) *Ondulada* – Preservação de base de canal, interpretado como vale inciso de até 1,5 km de largura, preenchido por formas de leito progradacionais da direita para esquerda. Notar padrão segmentado no centro que lateralmente muda para sub-paralelo.

#### *Sf5 - Sismofácies divergente*

A sismofácies divergente compõem o conjunto de refletores divergentes, e ocorrem em menor frequência na seção, normalmente associados ao preenchimento do topo, no centro de refletores ondulados. É comum que estes refletores acompanhem de forma concordante a superfície anterior formada por refletores ondulados, fazendo uma convexidade para o topo da seção, até inflexionar e mergulharem forte para SW (Fig.7).

#### *Interpretação*



A geometria externa dos refletores divergentes é compatível com a migração de barras arenosas que acompanham a mudança de posição do canal, e posterior preservação de feições semelhantes ao dique marginal (Miall, 2000).

#### *Sf6- Sismofácies ondulada*

A sismofácies ondulada representa o agrupamento de poucos refletores ondulados a muito ondulados, comuns ao longo da seção e compõem uma variação lateral de refletores regulares com maior ângulo de mergulho e maior extensão em área. Podem atingir até 10 km de extensão e variar entre 500 m e 1500 m de continuidade por meio de uma superfície de suave mergulho para SW e NE, até formar alto ângulo de mergulho, entre 15 e 20 ° no centro, onde preservam forma geométrica externa bem canalizada, sendo recobertos por refletores regulares. É comum a sobreposição destes por sismofácies obliquas. A terminação lateral de refletores pode ser observada na base da seção sísmica, onde é marcada pelo padrão de *onlap* para SW e NE, e em sua porção intermediária, onde é dominada pelo mesmo padrão, somente para SW. Para o topo da seção a terminação de refletores não é clara, pois ultrapassa o limite da seção observável, apesar disso no centro da seção é possível observar, sutilmente, padrões em *offlap* (Fig. 6).

#### *Interpretação*

A geometria externa dos refletores ondulados é compatível com superfícies de base de canais submarinos, cuja incisão pode até atingir até 1,5 km de profundidade. O preenchimento que recobre a superfície basal, interpretada como erosiva, poderia representar um sistema de canais submarinos preenchidos, com até 10 km de extensão. A diferença entre padrões de terminação de refletores em *onlap* na base para terminação em *offlap* no topo sugere que houve duas formas de preenchimento, uma marcada pela subida gradual do nível de base à medida que o canal era afogado, e outra no topo relacionada a pequena variação do nível de base (Fig.9), seguida por quedas pouco frequentes (Catuneanu, 2006).

#### **Terminação de refletores**

Foram interpretados 5 tipos de terminações de refletores sísmicos e de superfícies limitantes. Os refletores mais frequentes terminam em *onlap*, *donwlap* e como truncamento erosivo, com raras terminações em *offlap* e *toplap* (Fig. 8).

#### *Terminação em Onlap*

A terminação em *onlap* é pouco observável ao longo do intervalo sísmico interpretado para a Formação Calumbi, sendo restrita a porção superior da seção. Nessa porção ocorre de forma rara e discreta ao longo das sismofácies *hummocky*, regulares e sub-paralelas, sendo mais comum, como preenchimento interno de geometrias canalizadas maiores, que pode variar entre canais de *onlap* na base, que são transicionais para divergentes no topo ou na forma de canais complexos.

### *Terminação em Downlap*

O padrão foi identificado na porção inferior da unidade. A evidência de clinoformas com terminação em *downlap* na seção *downdip* da bacia é sugestiva de um intervalo de tempo com progradação, corroborada por formas canalizadas bem definidas preenchidas por sismofácies com padrão caótico, característicos de depósitos de fluxo de gravidade ou de detritos.

### *Terminação em truncamento erosivo*

A terminação erosiva está associada principalmente a linha sísmica longitudinal ao campo de Carapitanga. É identificada a partir do truncamento de refletores inclinados para SW contra uma superfície mais inclinada e com ângulo de mergulho para NE. Esta terminação é pouco comum ao longo da Fm. Calumbi, ocorrendo com maior frequência nas unidades subjacentes. Ao longo da Fm. Calumbi aparece em três intervalos estratigráficos, sempre marcando a base erosiva de canais sobrejacentes.

### **Superfícies limitantes**

As superfícies limitantes foram interpretadas em: superfície de escavação de canal (Sc), superfície regressiva (Sr), superfície regressiva máxima (Srm), superfície transgressiva (St) e superfície transgressiva máxima (Stm) (Fig. 8).

#### *Superfície de escavação de canal (Sc)*

Esta superfície tem a maior extensão em área na bacia podendo atingir 10 km, apesar disto é a menos frequente no tempo, tendo sido identificadas dentro da Fm. Calumbi apenas três intervalos em que ela ocorre (Fig. 9). É possível interpretá-la a partir de refletores ondulados como produto do rebaixamento regional do nível de base, seguido por erosão dos estratos anteriores e preservação de fundos de vale incisos. A distribuição dessa geometria associada ao recobrimento por sismofácies caóticas ou segmentadas no centro, que se tornam onduladas e sub-paralelas para os lados, sugere que a deposição sedimentar teria ocorrido predominantemente por fluxos de gravidade (escorregamentos) ou por correntes de turbidez. Nota-se a partir da distribuição destas formas geométricas que houve mudança lateral progressiva do canal de NE para SW desde a base até o topo da unidade.

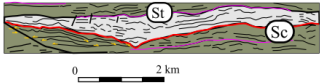
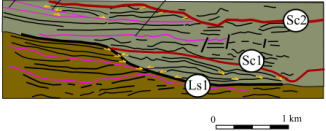
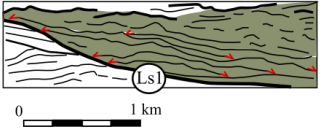
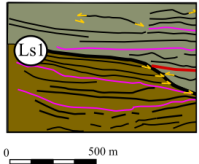
Principais superfícies limitantes	Terminação de refletores sísmicos associados	Sismofácies principais	Geometria associada	Interpretação
<div> <div>Stm</div> <div>Superfície transgressiva máxima</div> </div> <div> <div>St</div> <div>Superfície transgressiva</div> </div>	<div> <div>Terminação de refletores em <i>onlap</i></div> </div> <div> <div>Terminação de refletores em <i>toplap</i></div> </div> <div> <div>Terminação de refletores em <i>offlap</i></div> </div> <div> <div>Terminação de refletores em <i>downlap</i></div> </div>	<div>Sub-paralela e segmentada</div> <div>Obliqua, tangencial, sigmoidal</div> <div>Obliqua, sub-paralela, ondulada</div>	<div>  </div> <div>  </div> <div>  </div> <div>  </div>	<div>Preenchimento de vale inciso (Sc1), principalmente por escorregamentos (sismofácies segmentada à direita) por meio de progressivo aumento do nível de base (St1 e St2), até o afogamento máximo da bacia, quando ocorre o maior espaço de acomodação.</div> <div>Sistemas deposicionais de leques preenchendo cinturão de canal submarino de forma progradacional, seguido por aggradação sedimentar sobre o limite de sequência, sugerindo contexto de trato de mar baixo</div> <div>Rebaixamento pequeno (&lt;1 km) ou regional do nível de base (até 6 km afastado da posição anterior). Este pode estar relacionado a um limite de sequência do tipo I (Ls1), seguido por erosão do preenchimento do canal anterior</div>

Figura 8. Principais superfícies limitantes, terminações de refletores e padrões geométricos interpretados nas seções sísmicas.

#### *Superfície regressiva (Sr)*

A superfície regressiva pode ocorrer na forma de recuos pequenos do nível de base, com variação espacial na bacia de até 1 km da posição do *onlap* anterior (Fig. 9). Foram identificadas apenas em duas posições das seções estudadas. Interpreta-se que esta superfície esteja relacionada à flutuações negativas do nível de base dentro da escala de tempo da construção do sistema deposicional.

#### *Superfície regressiva máxima (Srm)*

Esta superfície ocorre uma vez na seção, e pode ser interpretada como a maior queda do nível de base marinho, com ampla exposição regional e erosão da plataforma anterior, por pelo menos 6 km de extensão de SW para NE. Sobre ela desenvolvem-se sistemas deposicionais relacionados ao menor de espaço de acomodação, provavelmente no contexto de mar baixo. Desta forma é possível inferir que se trata de uma superfície relacionada ao limite de sequência do tipo I.

#### *Superfície transgressiva (St)*

A superfície transgressiva é frequente e foi identificada quatro vezes no intervalo da unidade (Fm. Calumbi). Corresponde ao recobrimento de sismofácies segmentadas e sub-paralelas, logo acima do limite de sequência ou de superfícies de escavação de canal. Foi descrita como uma superfície de refletor sub-paralelo a pouco ondulado de extensão equivalente às superfícies de escavação de canal e do limite de sequência, podendo atingir até 10 km. É possível interpretá-la como limite de base de sistemas deposicionais de trato de mar alto e de topo de sistemas de trato transgressivo, que coincide com o desconfinamento regional do canal (Fig. 9).

#### *Superfície transgressiva máxima (Stm)*

Esta superfície é passível de identificação uma única vez, ao longo do intervalo médio das seções, onde é possível notar que é recoberta por uma superfície de escavação de canal e por sucessões progradacionais abaixo (Fig. 9). Interpreta-se que ao longo deste intervalo cronoestratigráfico houve a primeira maior subida do nível de base ao longo da deposição da Fm. Calumbi.

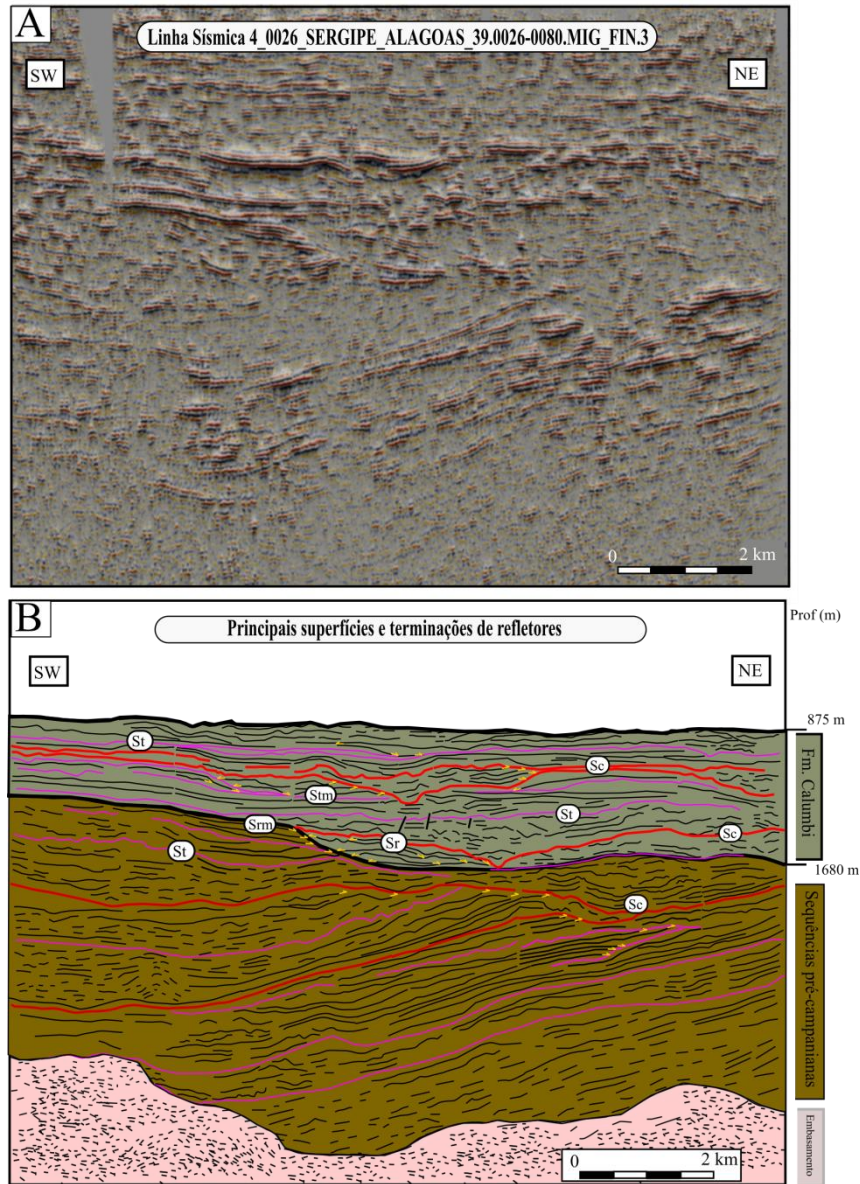


Figura 9. (A) Linha sísmica 4; (B) Interpretação sísmica para a Formação Calumbi e Sequências pré-campanianas no Campo de Carapitanga. Notar a presença de 3 mudanças laterais sucessivas de posição de vales incisos por meio de superfícies canalizadas (Sc) de NE para SW (linhas vermelhas) preenchidos por fluxos gravitacionais. Para o topo ocorrem superfícies transgressivas (St), marcando a subida gradual do nível de base até seu máximo (Stm), quando ocorre o segundo canal

## Arquitetura deposicional da bacia

### Linha sísmica 4

A base da Fm. Calumbi é marcada por um refletor sísmico muito ondulado de extensão regional, com mergulho suave de NW para SE, que é sobreposta por sismofácies ondulada, segmentada, caótica e oblíqua (Fig. 9). Quando sobreposta por refletores ondulados o contato se dá de forma pontual, sugerindo a presença de um vale inciso. Quando ocorre em contato com refletores oblíquos com terminação em *downlap*, pode ser inferida queda sucessiva do nível de base. A continuidade regional dessa queda permite inferir uma superfície regressiva, de forma semelhante a um limite de sequência do tipo I (Catuneanu, 2006).

Para o topo, o padrão de terminação com sucessivos refletores em *downlap* sugerem um rebaixamento de nível de base. O preenchimento interno e relação de formas de topo e base são sugestivos de um trato de sistema de mar baixo (TSMB1) (Fig. 10a). A presença de refletores em *onlap* e *downlap* sobre os primeiros refletores pode estar relacionada à primeira subida do nível de base durante o tempo de deposição da Fm. Calumbi. Sobre este preenchimento interno é possível notar um refletor muito ondulado, interpretado como uma incisão fluvial com cerca de 4 km de largura (superfície canalizada – Sc1), que por sua vez é recoberta por sismofácies segmentadas e caóticas. Esta forma canalizada preenchida é sobreposta por um refletor contínuo de extensão regional, que lateralmente recobre diretamente o limite de sequência do tipo I, tendo sido interpretada como superfície transgressiva 1 (St1) da bacia.

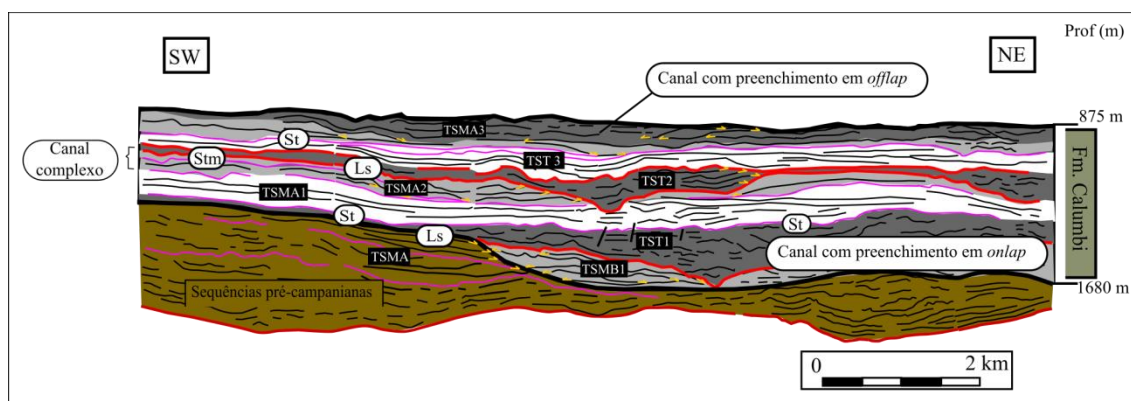


Figura 10a. Modelo geométrico de preenchimento sedimentar da linha sísmica 4 no Campo de Carapitanga. Da base para o topo é possível notar o limite de sequência do tipo I (Ls), por meio de exposição completa do trato de sistemas anterior. Para o topo é recoberto pela primeira aparição do trato de sistemas de mar baixo (TSMB1), logo recoberto, em discordância erosiva por um canal (Sc), por sua vez preenchido pelo primeiro trato transgressivo (TST1). Acima dele há amplo desconfinamento das formas de grande escala da bacia, com preservação do trato de sistemas de mar alto (TSMA1), sobre o qual está preservada superfície transgressiva máxima (Stm) e o segundo limite de sequência, do tipo II (Ls).

O preenchimento entre a base deste canal e a ST1 pode ser interpretada como geração gradual de espaço de acomodação, que dentro da área do canal teria passado de formas amalgamadas no centro e na base, representada pelos refletores caóticos e



segmentados, para formas menos canalizadas e desconfinadas para as margens onde os refletores são mais contínuos. Este padrão sugere a passagem de formas progradacionais, agradacionais para retrogradacionais conforme o espaço de acomodação aumentava, podendo ser interpretado como um trato de sistemas transgressivo (TST) (Fig. 10a). A St1 pode indicar a segunda subida do nível de base da unidade. Sobreposto a esta superfície os refletores apresentam em grande parte padrão paralelo a sub-paralelo, indicando que a deposição teria ocorrido de forma contínua e agradacional, o que pode estar relacionado a um equilíbrio entre aporte e geração de espaço de acomodação nesta área da bacia. Sobre estes refletores ocorre outro refletor mais inclinado sobre o qual estão terminações de dois refletores sucessivos em *downlap*. Esta evidência pode indicar um novo rebaixamento de nível de base (rebaixamento 3), o que sugere que a superfície anterior pode se tratar de uma superfície transgressiva máxima (Stm). Neste sentido o trato de sistemas deposicionais entre esta e a superfície transgressiva é compatível com mar alto (TSMA1) enquanto que a progradação seguinte assemelha-se a um trato de mar alto (TSMA2), formado a partir de regressão forçada (Catuneanu, 2006).

O segundo cânion mapeado tem aproximadamente 3 km de largura, assim como o primeiro, e seu preenchimento é marcado pela presença de refletores caóticos no centro, por vezes, pouco ondulados e contínuos nas margens, onde apresentam terminações em *onlap*. Logo em seguida ao preenchimento da superfície Sc2, foi mapeada a última escavação identificada nos limites inferidos para a Formação Calumbi (Sc3). O paleocanal principal possui largura maior que os demais, cerca de 3 km. O conjunto de superfícies que indicam escavação (Sc2 e Sc3) compreendem o trato de mar baixo 2 (TSMB2).

Os refletores sobrepostos ao TSMB2 têm padrão predominantemente sub-paralelo, com destaque para a identificação da superfície transgressiva 3 (St3), marcada, assim como as St1 e St2 pela continuidade e extensão dos refletores. A St3 indica a última superfície transgressiva mapeada no intervalo inferido para Formação Calumbi.

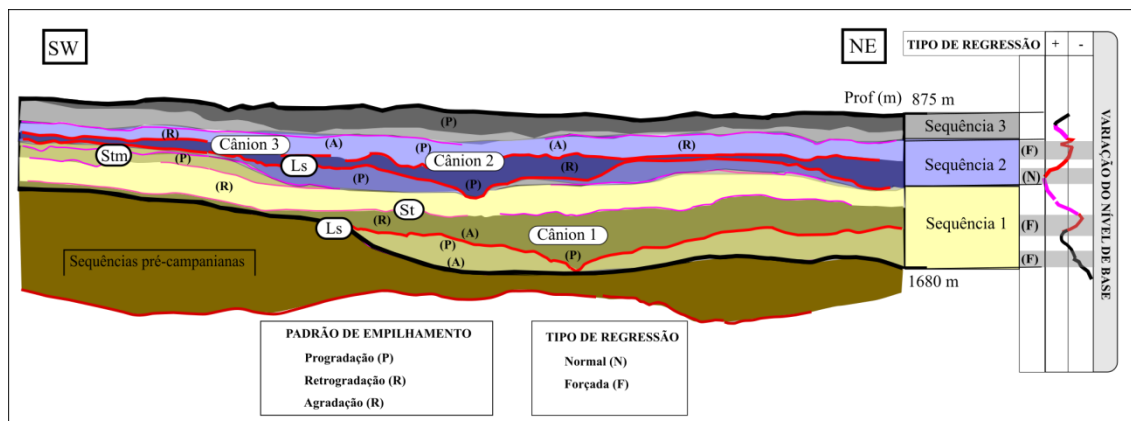


Figura 10b. Variação do nível de base ao longo da deposição sedimentar da Fm. Calumbi. Notar variação regular do nível de base ao longo da sequência 1 que é mais espessa, e irregular ao longo da sequência 2, onde foram identificadas duas incisões de canal sucessivas de mais alta frequência. A sequência 3 representa queda pouco acentuada do nível de base, acompanhada pela progradação dos sistemas deposicionais. É possível notar equilíbrio entre progradações e retrogradações, com menor número de agradações.

## DISCUSSÃO

A Formação Calumbi tem ampla abrangência temporal e é interpretada como produto da sedimentação ocorrida durante a fase drifte da Bacia de Sergipe-Alagoas desde o Neocretáceo até o Pleistoceno (Silva, 2007). Compreende depósitos sedimentares que variam de ambientes plataformais, comumente localizados na região sul da Bacia de Sergipe, à oeste da cidade de Aracaju, onde preserva depósitos de barras arenosas ricas em icnofácies do gênero *Thalassinoides*, formadas por ondas, intercaladas com pelitos laminados, formados por decantação de argila em ambientes de *shoreface* e *offshore* (Souza-Lima, 2001), por vezes, influenciado por correntes de fundo. Apesar disto a unidade é pobre em afloramentos que permitem extrair informações sobre a arquitetura deposicional, com raras exceções como é o caso da pedreira abandonada próxima a região de Nossa Senhora do Socorro – SE (Figueiredo, 2014). Na região norte da bacia, contudo, não aflora, e as informações sobre preenchimento deposicional têm sido obtidas a partir de dados de subsuperfície, com auxílio de ferramentas sísmicas e de poços exploratórios e produtores (Rancan et al 2007).

Próximo a porção norte da bacia, junto à foz do Rio São Francisco está localizado o campo de Carapitanga, que preserva em sub-superfície rochas da Formação Calumbi. Entretanto o campo, cujos reservatórios de óleo e gás estão dentro desta unidade é considerado atualmente em declínio e pode ser inviabilizado em função de sua baixa produção (Siqueira e Santos, 2008). Isto se deve, em parte, a pouca informação sobre a arquitetura dos depósitos arenosos que compõem o reservatório, que é condicionado por armadilhas estratigráficas (ANP, 2005). Em algumas áreas, poucas dezenas de quilômetros ao norte do campo são discutidos modelos de sedimentação entre o Campaniano e o Maastrichtiano, que envolvem a incisão da plataforma marinha, com desenvolvimento de cânions submarinos alimentados por fluxos gravitacionais de massa, por correntes de turbidez e leques submarinos (Ponte et al. 1975; Koutsoukos e Beurlen, 1991; Cainelli, 1992; Feijó, 1994; Ronzê, 1995; Silva, 2007). Tais modelos contrastam fortemente com aqueles propostos para o mesmo período na região sul da bacia, o que sugere grande variedade ambiental ao longo deste intervalo deposicional. Porém o Campo de Carapitanga ainda não tem informações suficientes para entender o modelo deposicional.

Os resultados do presente trabalho preenchem esta lacuna de informações sobre o modelo deposicional no campo de Carapitanga. As seções sísmicas do campo e adjacentes a ele permitiram avaliar a evolução geométrica dos elementos que constituem os sistemas deposicionais, tratos de sistemas e sequências ao longo do intervalo de 800 m de espessura da Formação Calumbi. Ao todo foram interpretados sistemas deposicionais de leques submarinos, escorregamentos de borda de vales incisos e sedimentação em canais e por extravasamento deles. Esta informação corrobora com os trabalhos poucos quilômetros ao norte (*e.g.* Cainelli, 1992; Ronzê, 1995) e estão relacionados a eventos de transgressão e regressão que ocorreram ao longo do Maastrichtiano (Silva, 2007).

Do ponto de vista estratigráfico foram interpretadas 3 sequências deposicionais, entre o intervalo de 1680 m e 875 m.



A sequência 1 é marcada pelo rebaixamento regional do nível de base, gerado a partir de um evento de regressão forçada (Fig.10b) que expõe toda a área da bacia, permitindo o desenvolvimento de leques submarinos bem marcados por formas progradacionais na base da seção, provavelmente correspondendo a discordância Pré-Calumbi (Silva, 2007). Ao longo dessa sequência estão preservados, de forma equilibrada, dois eventos de regressão forçada e duas transgressões marinhas, sendo esta última mais frequente no tempo e mais expressiva em área do que o vale inciso que só ocorre em um momento, durante o desenvolvimento de canais submarinos e extravasamento regional de canais à medida que o espaço de acomodação aumentava, que separa a Fm. Calumbi de sequências pré-campanianas.

A sequência 2 tem menor espessura e compreende um intervalo dominado por regressões, uma normal durante a subida do nível de base, em que se desenvolveram formas progradacionais em contexto de mar alto ou de margem de plataforma, e outra forçada, interpretada na forma de duas quedas rápidas sucessivas (Figs. 10a e b). Entre estes dois eventos ocorre uma pequena transgressão marinha.

A sequência 3 é a menor em espessura e preserva um trato de sistema de mar alto no topo da Fm. Calumbi, aparentemente com aporte ganhando da geração de espaço.

Esta configuração difere um pouco do modelo proposto por Cainelli (1992). Segundo este autor formas em *onlap* só ocorreriam a partir da sequência 2. No Campo de Carapitanga, entretanto, foram interpretados apenas dois limites de sequência, o que não permite inferir quatro sequências deposicionais. Outro aspecto interessante, pouco discutido, é o caráter do preenchimento dos canais que pode ser em: *onlap* (*a*), marcado por formas progradacionais no centro, e agradacionais a retrogradacionais nas margens, sugerindo desconfinamento gradual do fluxo que o preenchia, com posterior abandono; complexo (*b*) como é o caso dos canais superpostos preenchidos por pelitos, que abarca toda a sequência 2; e canais com preenchimento em *offlap* e *downlap* (*c*), que pode indicar maior conteúdo de arenitos. Destaca-se o reconhecimento de um trato de sistemas de mar alto, logo abaixo do limite da sequência 2, como possível candidato a rocha reservatório.

O modelo aqui proposto é compatível com a sedimentação de duas sequências (Sequência 1 e 2) separadas por quedas do nível de base regional que marcam a escavação de cânions (Fig. 15).

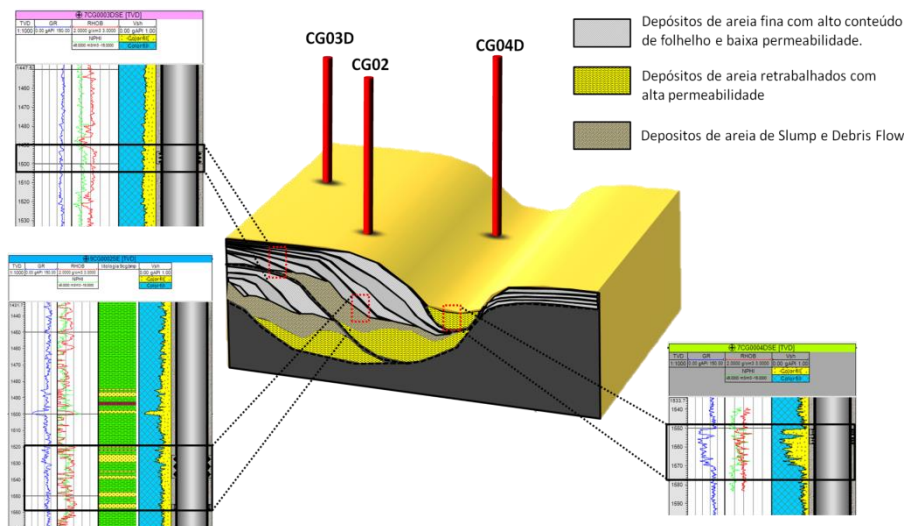


Figura 11. Modelo esquemático para a deposição da Formação Calumbi no Campo de Carapitanga e candidatos a reservatórios.

Do ponto de vista de seqüências os resultados, apesar de preliminares, permitem visualizar 3 seqüências com padrões pouco harmônicos quando comparados com a curva senóide da premissa dos modelos para sedimentação em margens passivas (Catuneanu, 2006). É interessante notar que a seqüência 1 está completa, sendo formada por 4 tratos de sistemas deposicionais, porém com equilíbrio entre eventos regressivos e transgressivos, o que é incomum nos modelos, em que predominam regressões. Por outro lado, a seqüência 2 corresponde mais tempo de regressões, sendo uma normal e duas forçadas, separadas por uma pequena transgressão.

## CONCLUSÃO

A análise sismoestratigráfica e de perfis de poços da Formação Calumbi permitiu a definição dos limites da unidade, bem marcados por variações dos perfis de raios gama e neutrão no topo (800 m) e na base (1.680m). Neste intervalo foram interpretadas 3 seqüências deposicionais, ao longo de 800 m no Campo de Carapitanga.

A primeira seqüência obedece de forma equilibrada a distribuição entre quedas e subidas do nível de base, tendo sido interpretadas duas progradações e duas retrogradações de sistemas deposicionais. Ao longo deste intervalo desenvolveu-se o primeiro vale inciso, preenchido por um trato de sistemas transgressivo, com preservação de sismo fácies sugestivas de leques submarinos lamosos no centro, que paulatinamente desconfinavam para as margens, conforme aumentava o espaço de acomodação, onde por vezes, preservam-se fluxos gravitacionais de arenitos e escorregamentos. A segunda seqüência é menos espessa e compreende maior número de progradações, tendo sido relacionada a duas quedas sucessivas curtas do nível de base, marcadas pelo desenvolvimento de dois cânions, que se sobrepõe e se deslocam lateralmente pelo preenchimento do canal lamoso. A terceira seqüência representa a migração de formas de leito arenosas num contexto de regressão normal. Do ponto de vista de seqüências esta distribuição é interessante pois evidencia o comportamento contrastante ao das premissas de variação do nível eustático do modelo.

A configuração geométrica do Campo de Carapitanga obedece em parte aos modelos propostos para áreas poucos quilômetros ao norte. Neste campo não foi identificada a sequência de topo e os cânions parecem ter maior complexidade interna e externa. Todos podem atingir 10 km de extensão lateral, contudo o cânion da sequência 1 é mais profundo e preenchido por leques e escorregamentos laterais arenosos. Enquanto que os demais dentro da sequência 2 são mais rasos e estão organizados quase superpostos. Esta mudança lateral vista entre as linhas sísmicas 2-4 e a linha 3 permitiu a elaboração de um modelo de aporte de leques advindos de NW-N, o que sugere uma mudança de direção das incisões da plataforma em relação às áreas ao norte dos modelos anteriores.

A interpretação de um trato de sistemas de mar alto, com progradação de formas arenosas no topo da primeira sequência à SW, pode sugerir um potencial reservatório. Entretanto informações de poços e furos seriam necessários para avaliar melhor esta possibilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2005). Resumo para 7ª Rodada de Licitações. Área de Carapitanga, Rio de Janeiro. 10 p.
- Bouma, A. H. (2000). Coarse-grained and fined-grained turbidite systems as end member models applicability and dangers. *Marine and petroleum geology*, 17: 137-143.
- Cainelli, C. (1992). *Sequence stratigraphy, canyons, and gravity mass flow deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil*. Tese (Doutorado). Austin: The University of Texas, Estados Unidos.
- Campos Neto, O.P.A, Souza-Lima, W., Cruz, F.E.G. (2007). Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15: 405-415.
- Catuneanu, O. (2006). *Principles of Sequence Stratigraphy*. Edmonton: Elsevier.
- Feijó, F. J. (1994). Bacias de Sergipe e Alagoas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8 (1): 149-161.
- Figueiredo, M. N. (2014). *Modelos deposicionais comparados dos reservatórios areníticos santonianos-campanianos da Formação Calumbi, bacia Sergipe-Alagoas*. Dissertação (Mestrado). São Cristóvão: Programa de Pós Graduação em Geociências e Análises de Bacias, Universidade Federal de Sergipe.
- Figueiredo, A.M.N., Martins, C.C. (1990). 20 anos de exploração da Bacia de Campos e o sucesso nas águas profundas. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 4 (1): 105-123p.
- Jardim de Sá, E. F., Medeiros, W. E., Antunes, A. F., & Lins, F. A. (2008). Revisão Geológica e Reavaliação dos Sistemas Petrolíferos da Bacia Sergipe-Alagoas. Natal: Agência Nacional do Petróleo.
- Keary, P., Brooks, M., Hill, I. (2009). *Geofísica de Exploração*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Koutsoukos, E. A. M., Beurlen, G. (1991). Análise paleobiocenótica de foraminíferos bentônicos do Cretáceo Superior da Bacia de Sergipe pelo método Braun-Blanquet. *Boletim de Geociências Petrobras*, 5(1/4): 5-16.
- Miall, A.D. (1978) Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary. In: A.D. Miall (Ed.), *Fluvial Sedimentology*, 5. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists.
- Miall, A. D (2000). *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Heidelberg, Springer.

- Miall, A. D (2010). *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Heidelberg, Springer.
- Mitchum, R. M., Wagoner, J. C. V. (1991). High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. *Sedimentary geology*, 70: 131-160.
- Ponte, F.C., Potter, P.E., Toffoli, L.C., Barros, M.C. (1975). Gênese e distribuição dos arenitos Calumbi na foz do rio São Francisco , Bacia Sergipe-Alagoas. Petrobras, Relatório interno.
- Posamentier, H. W., Walker, R. G. (2006). *Facies Models Revisited*. Tulsa, Society of Sedimentary Geology, Especial Publication, **84**, 532 p.
- Reading, H.G. (1996). *Sedimentary Enviroments: Process, Facies and Stratigraphy*. Oxford, Blackwell Science Ltd. 326 p.
- Rancan, C.C., Lira, F.S., Nishimura, E.M., Araújo, A.L.N. (2009). O soerguimento do domínio Macururé e sua influência na sedimentação turbidítica no Crétaceo Superior da Sub-bacia de Sergipe, Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 17: 45-67.
- Ronzê P.C. (1995). Petrologia e características de reservatórios dos turbiditos cretácicos da Formação calumbi, bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Selley, R. C. (2001). *Applied Sedimentology*. London: Academic Press.
- Siqueira, M., Santos, R. C. C. (2008). Os campos maduros de petróleo e o desenvolvimento regional: o caso do nordeste brasileiro. *XVII Congresso Nacional do CONPEDI*, Brasília.
- Silva, B. O. (2007). Evolução, geometria e preenchimento do complexo de canyons de Brejo Grande, Bacia de Sergipe-Alagoas. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Souza-Lima, W. (2001). *Macrofaunas campanianas e ambientes deposicionais da Formação Calumbi, bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Veeken, P.C.H. (2007). Seismic Stratigraphy, Basin Analysis And Reservoir Characterization. In: Helbig, K., Treitel, S. (eds). *Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration*, vol. 37. 111-234p. Oxford: Elsevier.

### **CAPÍTULO III – CONCLUSÃO**

A análise sismoestratigráfica e de perfis de poços da Formação Calumbi permitiu a definição dos limites da unidade, bem marcados por variações dos perfis de raios gama e neutrão no topo (800 m) e na base (1.680m). Neste intervalo foram interpretadas 3 sequências deposicionais, ao longo de 800 m no Campo de Carapitanga.

A primeira sequência obedece de forma equilibrada a distribuição entre quedas e subidas do nível de base, tendo sido interpretadas duas progradações e duas retrogradações de sistemas deposicionais. Ao longo deste intervalo desenvolveu-se o primeiro vale inciso, preenchido por um trato de sistemas transgressivo, com preservação de sismofácies sugestivas de leques submarinos lamosos no centro, que paulatinamente desconfinavam para as margens, conforme aumentava o espaço de acomodação, onde por vezes, preservam-se fluxos gravitacionais de arenitos e escorregamentos. A segunda sequência é menos espessa e compreende maior número de progradações, tendo sido relacionada a duas quedas sucessivas curtas do nível de base, marcadas pelo desenvolvimento de dois cânions, que se sobrepõe e se deslocam lateralmente pelo preenchimento do canal lamoso. A terceira sequência representa a migração de formas de leito arenosas num contexto de regressão normal. Do ponto de vista de sequências esta distribuição é interessante pois evidencia o comportamento contrastante ao das premissas de variação do nível eustático do modelo.

A configuração geométrica do Campo de Carapitanga obedece em parte aos modelos propostos para áreas poucos quilômetros ao norte. Neste campo não foi identificada a sequência de topo e os cânions parecem ter maior complexidade interna e externa. Todos podem atingir 10 km de extensão lateral, contudo o cânion da sequência 1 é mais profundo e preenchido por leques e escorregamentos laterais arenosos. Enquanto que os demais dentro da sequência 2 são mais rasos e estão organizados quase superpostos. Esta mudança lateral vista entre as linhas sísmicas 2-4 e a linha 3 permitiu a elaboração de um modelo de aporte de leques advindos de NW-N, o que sugere uma mudança de direção das incisões da plataforma em relação às áreas ao norte dos modelos anteriores.

A interpretação de um trato de sistemas de mar alto, com progradação de formas arenosas no topo da primeira sequência à SW, pode sugerir um potencial reservatório. Entretanto informações de poços e furos seriam necessários para avaliar melhor esta possibilidade.

## ANEXO I – NORMAS DA REVISTA GEOLOGIA-USP SÉRIE CIENTÍFICA

[INÍCIO](#) / Submissões

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso. [Acesso](#) em uma conta existente ou [Registrar](#) uma nova conta.

### Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

- |   |  |
|---|--|
| ✓ | 1 - A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em "Comentários ao editor".   |
| ✓ | 2 - O arquivo da submissão está em formato Microsoft Word.   |
| ✓ | 3 - Título do artigo nos idiomas português e inglês; título curto (máximo de 50 caracteres com espaço); resumo e abstract, que acompanham o manuscrito, com máximo de 270 palavras; limite de 6 descritores. |
| ✓ | 4 - O resumo ou o abstract que será inserido no passo 3 - Inclusão de Metadados possui no máximo 248 palavras.   |
| ✓ | 5 - As Figuras estão em alta resolução, com mínimo de 300 dpi.   |



✓ 6 - Todas as citações estão referidas e vice-versa.

✓ 7 - Citações e referências estão dentro das normas da revista.

✓ 8 - Todas as informações constituem um só arquivo, isto é, página de rosto, texto principal, figuras, legendas e tabelas estão no mesmo arquivo (esta condição é válida somente durante o processo de submissão/avaliação; após o artigo aprovado a forma de envio é diferente; para maiores detalhes consultar Diretrizes para autores).

## Diretrizes para Autores

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 30 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo **somente do autor principal** (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e **telefone para contato** - *pode ser o endereço da Universidade*), **e-mail de todos os autores**; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, **devem ser concisos, com no máximo 270 palavras**. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – **máximo seis**, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. **O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas. (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos).**

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

## 3. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1 – NEGRITO, CAIXA ALTA.

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. **Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.** As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

#### 8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1993) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1983), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1983; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.

**A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.**

#### EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman.

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of flow and advective transport*. San Diego: Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2<sup>nd</sup> ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins*, 1, 411-446. New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N., Pearce, J., Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C. (ed.) *Collision tectonics*. 67-81. London: Geological Society. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffu, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoa, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 382-396. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/ CBPM.

h) Teses e Dissertações

Petta, A. R. (1993). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/ Caicó (RN-Brasil)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Pressi, I. F. (2012). *Evolução magmática do Plúton Piracaia (SP): parâmetros físico-químicos e evidências de mistura entre magmas monzodioríticos e sieníticos*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatum, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <[http://www.phoenix.org.br/Paleo2007\\_Boletim.pdf](http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf)>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*.

<https://doi.org/10.7476/9788579830020>.

Artigo de periódico

Evandro, L., Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gílvana, I., Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U-Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216.

<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.08.007>.

## Declaração de Direito Autoral

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

1. Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista Geologia USP: Série Científica, o direito de primeira publicação, com o trabalho sob a licença Creative Commons BY-NC-SA (resumo da Licença: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0> | texto completo da licença: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>) que permite o compartilhamento do trabalho de forma não comercial e conferindo os devidos créditos autorais da primeira publicação nesta revista.
2. Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do trabalho publicada nesta revista (publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), conferindo os devidos créditos autorais da primeira publicação nesta revista.
3. Autores têm permissão e são estimulados a publicar e distribuir seu trabalho online (em repositórios institucionais ou na sua página pessoal) a qualquer ponto antes ou durante o processo editorial, uma vez que isso pode gerar alterações produtivas, bem como aumentar o impacto e a citação do trabalho publicado (Veja [O efeito do Acesso Aberto e downloads no impacto das citações](#)).

## Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

## ANEXO II – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO

[GEOUSP] Agradecimento pela submissão Caixa de entrada x



**Daniel Machado** <portalde revistas@usp.br>  
para eu ▾

14 de abr de 2019 18:35 (há 3 dias)



Isabela Ramos Soares,

Agradecemos a submissão do trabalho "Modelo deposicional de cânions submarinos da Formação Calumbi no campo petrolífero de Carapitanga, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas" para a revista Geologia USP, Série Científica.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <http://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/156858>  
Login: isa\_bela-90

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Daniel Machado

[Responder](#) [Encaminhar](#)

Geologia USP, Série Científica ▾ Tarefas 0

Português (Brasil) Ver o Site isa\_bela-90

Biblioteca da Submissão Ver metadados

Modelo deposicional de cânions submarinos da Formação Calumbi no campo petrolífero de Carapitanga, seção drifte da Bacia Sergipe-Alagoas  
Isabela Ramos Soares, German Hernandez Menezes

Submissão Avaliação Edição de Texto Editoração

Arquivos da Submissão [Q Buscar](#)

344340-1	isa_bela-90, Modelo deposicional de cânions submarinos da Formação Calumbi no campo petrolífero de Carapitanga, seção drifte da Bacia Se.doc	Texto do artigo
----------	--	-----------------

[Baixar Todos os Arquivos](#)

Discussão da pre-avaliação [Adicionar comentários](#)

Nome	De	Última resposta	Respostas	Fechado
<a href="#">Comentários para o editor</a>	isa_bela-90 Apr/14	-	0	<input type="checkbox"/>

### **ANEXO III – JUSTIFICATIVA DE COAUTORIA**

#### Justificativas de coautorias

Em acordo à resolução 01/2018 do colegiado do PGAB, segue a justificativa da participação dos coautores no artigo aqui proposto (outros autores além do aluno do programa e seu orientador):

German Hernandez Menezes: O colega e aluno do PGAB auxiliou no manuseio de softwares, bem como nas interpretações e discussão dos resultados.